

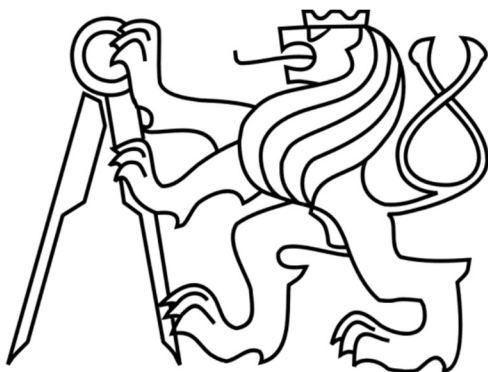
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA

KATEDRA GEOMATIKY



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

HRAD ANDĚLSKÁ HORA (KARLOVY VARY) – MĚŘICKÁ DOKUMENTACE DRUHÉ BRÁNY

ANDĚLSKÁ HORA CASTLE (KARLOVY VARY) – METRICAL DOCUMENTATION OF THE SECOND GATE

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.

leden 2018

Kristýna Ledecká

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Ledecká Jméno: Kristýna Osobní číslo: 439243
Zadávající katedra: Katedra geomatiky - K155
Studijní program: Geodézie a kartografie - B3645
Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika - 3646R011

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Hrad Andělská Hora (Karlovy Vary) - měřická dokumentace Druhé brány
Název bakalářské práce anglicky: Andělská Hora Castle (Karlovy Vary) - metrical documentation of the Second Gate

Pokyny pro vypracování:

- ve spolupráci se zadavatelem proveďte rekognoskaci zaměřované části objektu a definujte typ a parametry výstupů projektu,
- navrhnete vhodné měřické metody a technologické postupy pro vytvoření definovaných výstupů,
- proveďte měřické práce v objektu v nezbytném rozsahu s důrazem na možnosti kontroly přesnosti,
- zpracujte pořízená data do podoby výstupů,
- shrňte dosažené výsledky a zhodnoťte jejich přesnost a vypovídací schopnost v kontextu dalšího využití zadavatelem.

Seznam doporučené literatury:

RICHTROVÁ, Zuzana. Horní tvrz Kestřany (Písek) - měřická dokumentace vybrané části.

bakalářská práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2016.

VÁŠOVÁ, Barbora. Dům Thunovská č.p. 181/III (Praha 1) - měřická dokumentace vybrané části.

bakalářská práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2016.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 6. října 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 14. ledna 2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

6.10.2017

Datum převzetí zadání



Podpis studenta(ky)

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Hrad Andělská Hora (Karlovy Vary) - měřická dokumentace Druhé brány“ vypracovala samostatně. Veškerou literaturu a podkladové materiály uvádím v přiloženém seznamu literatury.

V Praze dne 10. ledna 2018

Kristýna Ledecká

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu Ing. Jindřichu Hodačovi, Ph.D., za odborné vedení, pomoc, trpělivost, cenné rady a čas věnovaný konzultacím při zpracování této práce. Ráda bych poděkovala i Ing. Zdeňkovi Poloprutskému a Ing. Jaroslavu Šedinovi, kteří též věnovali čas a cenné rady této práci. Další poděkování patří Ondřeji Šmolíkovi, který mi byl při zpracování této práce velmi nápomocen.

V neposlední řadě patří poděkování též mé rodině, blízkým a přátelům za pomoc a podporu, jak při vypracování této práce, tak po celou dobu studia.

ANOTACE

Hlavním cílem této bakalářské práce je vytvoření měřické dokumentace vybrané části hradu Andělská Hora, který se nachází v okrese Karlovy Vary, metodou pozemního laserového skenování. Zadání projektu vzniklo ve spolupráci s územním pracovištěm Národního památkového ústavu v Lokti. Výsledky této práce budou sloužit k upřesnění závěrů stavebně-historického průzkumu objektu.

Byla provedena rekognoskace zájmové části objektu a následně proběhlo podrobné zaměření pozůstatků Druhé brány pomocí metody pozemního laserového skenování přístrojem *Surphaser 25 HSX*. Pro polohové souřadnicové připojení objektu bylo provedeno geodetické zaměření identických bodů totální stanicí *Sokkia SET2030R3*. Výškové připojení proběhlo GNSS přijímačem *SOUTH S82T*. Výsledná mračna bodů byla zpracována a transformována do systémů S-JTSK a Bpv v programu *Geomagic Studio*.

Výsledkem práce je výkresová dokumentace v rozsahu pěti půdorysů (jedná se o 2 výkresy v přízemí, 2 výkresy v prvním patře a 1 výkres v druhém patře) a 2D svislý řez v rozsahu jednoho výkresu. Dále byly vyhotoveny hypsometrické plány znázorňující prostorové deformace a vztahy pro vnější líc severní zdi, vnitřní líc východní zdi, vnitřní líc západní zdi a monochromatická ortofota generovaná ze síťového modelu pro stejné zdi. Dalším výsledkem práce jsou i dva 3D modely umístěné v polohovém souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv. Jeden model je tvořen pouze bodovým mračnem, druhý je tvořen polygonovou vrstvou (trojúhelníkovou sítí).

KLÍČOVÁ SLOVA

3D model, laserové skenování, hypsometrie, ortofoto, stavební výkresy

ABSTRACT

The main goal of this Bachelor's thesis is measuring documentation of chosen part of castle Andělská Hora which is located in the district of Karlovy Vary, using the method of terrestrial laser scanning. The project was commissioned in cooperation with the local office of the National Heritage Institute in Lohotky. The results of this work will serve to specify the conclusions of the building-historical survey of the building.

Terrain recognition was done at the object's area. It was followed by scanning of the castle's premises by laser scanner *Surphaser 25 HSX*. Geodetic measuring was made by total station *Sokkia SET2030R3* to position the object into the coordinate system (S-JTSK). Connection into the elevation system Bpv was made by the GNSS receiver *SOUTH S82T*. The resulting point cloud was processed and transformed in the *Geomagic Studio*.

The results of this thesis are 2D floor plans in the range of five drawings (2 drawings on the ground floor, 2 drawings on the first floor and 1 drawing on the second floor) and 2D vertical plan sectional view. Making a hypsometric plans showing spatial deformations and relations for the outer faces of the northern wall, the inner face of the east wall, the inner face of the western wall and monochrome orthophoto generated from a network model for the same wall. Another results of this thesis are two 3D models located in the S-JTSK coordinate system and the Bpv height system. One model is composed only of a point cloud, the other is a polygon layer (triangular network).

KEY WORDS

3D model, laser scanning, hypsometry, orthophoto, building drawings

OBSAH

ÚVOD.....	10
1. HISTORIE HRADU ANDĚLSKÁ HORA	11
1.1. Zadaná část objektu	12
2. POUŽITÉ TECHNOLOGIE A PŘÍSTROJE	13
2.1. Pozemní laserové skenování	13
2.2. Skenovací systém Surpaser 25 HSX.....	16
2.3. GNSS stanice SOUTH S82T	17
2.4. Totální stanice Sokkia SET2030R3	18
3. PRÁCE V TERÉNU	19
3.1. Přípravné práce	19
3.2. Rekognoskace terénu.....	19
3.3. Měření.....	20
3.3.1. Skenování objektu.....	20
3.3.2. Geodetické zaměření	22
4. ZPRACOVÁNÍ 3D MODELU	23
4.1. Geodetické výpočty.....	23
4.1.1. Zpracování měření GNSS.....	23
4.1.2. Zpracování měření z totální stanice	23
4.2. Zpracování dat laserového skenování.....	24
4.2.1. Export dat.....	24
4.2.2. Software Geomagic Studio.....	24
5. ZPRACOVÁNÍ 2D VÝSTUPŮ	31
5.1. Tvorba podkladových rastrů	31
5.2. Tvorba půdorysů	32
5.3. Tvorba řezu	33
5.4. Tvorba hypsometrie	34
5.5. Tvorba ortofot.....	37
6. ZHODNOCENÍ PŘESNOSTI	39
6.1. Laserové skenování	39
6.2. Geodetické měření.....	39
6.3. Zpracování mračna bodů	40
6.4. Transformace modelu	40
6.5. Tvorba 2D výkresů.....	41
7. ZÁVĚR	42

CITOVANÁ LITERATURA	48
SEZNAM OBRÁZKŮ	48
SEZNAM TABULEK	47
SEZNAM PŘÍLOH.....	48

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

S-JTSK	...	souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
Bpv	...	výškový systém Balt po vyrovnání
NPÚ, ú.o.p.	...	Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště
GNSS	...	globální družicový polohový systém
GPS	...	globální polohový systém
RMS	...	střední kvadratická hodnota (elektrických veličin)
ppm	...	parts per million - dílů na jeden milion (jednotka)
dpi	...	dots per inch – pixelů na palec (jednotka)
MB	...	megabit (jednotka dat)

ÚVOD

Tato bakalářská práce se věnuje problematice sběru měřických dat a následnému zpracování dokumentace památkového objektu, Druhé brány na Andělské Hoře. Téma bylo nabídnuto archeology z Národního památkového ústavu v rámci činností vyhodnocování a dokumentace stavu zříceniny hradu. Hlavním cílem této práce bylo provést laserové skenování objektu zájmu a dále vyhotovit 2D výkresy včetně hypsometrie a monochromatických ortofot zvolených stěn. Výsledná dokumentace bude využívána pro vyhodnocení stavebně-historického průzkumu, pro zpřesnění stávajících měřických dokumentací a pro získání přesnější návaznosti stavebních prací a deformací.

V první kapitole jsou uvedeny historické informace o hradu od doby jeho založení až po současnost, kdy se provádějí rekonstrukční práce. V druhé kapitole jsou uvedeny teoretické informace o použité metodě laserového skenování a technické charakteristiky přístrojů použitých při měření. Třetí kapitola je věnována měřickým krokům, kterými jsou rekognoskace terénu, přípravné činnosti, laserové skenování a geodetické zaměření objektu zájmu.

Nejrozsáhlejší je v pořadí čtvrtá kapitola. Pojednává o vytváření 3D modelu prostřednictvím spojování mračen bodů, z jednotlivých pořízených skenů. Tímto způsobem vzniklo jedno celkové mračno, které se následně editovalo. Spojené mračno bylo třeba natransformovat do známé souřadnicové soustavy, v tomto případě do polohového S-JTSK a výškového Bpv. Dalším krokem bylo budování nepravidelné trojúhelníkové sítě. Veškerá zpracování spojená s tvorbou 3D modelu byla provedena s využitím programu *Geomagic Studio*.

Pátá, obsahově nejdůležitější kapitola, se věnuje vytváření 2D výstupů. Pro tvorbu půdorysů a svislého řezu byl použit program *AutoCAD 2012*. Podkladové rastry byly získány z programu *Geomagic Studio*. Výstupy jsou na žádost NPÚ doplněny o prvky nad rámec stavebních výkresů. Pro tvorbu hypsometrických plánů znázorňujících prostorové deformace byl použit program *Surfer 15* a následně program *AutoCAD 2012* pro finální úpravu do podoby výkresu. Pro vyhotovení monochromatických ortofot generovaných ze síťového modelu byl opět využit program *Geomagic Studio* a program *AutoCAD 2012* pro následnou úpravu.

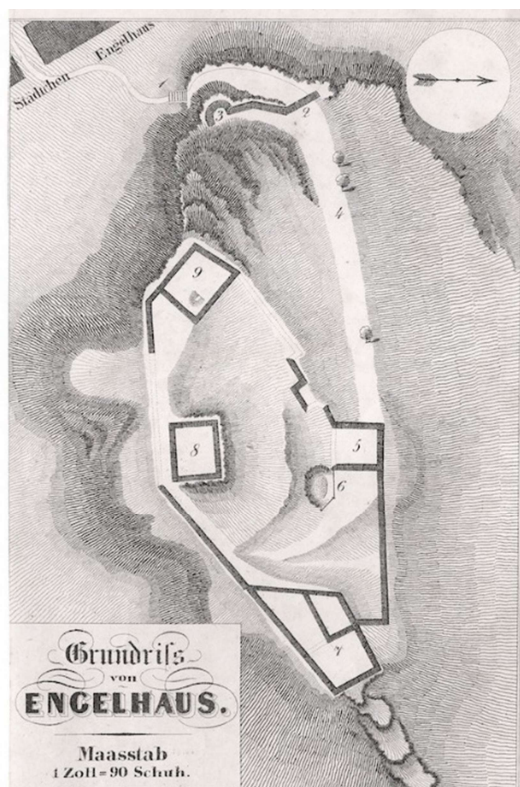
V poslední kapitole jsou vyhodnoceny přesnosti jednotlivých fází zpracování. Výsledné prostorové modely jsou uloženy do různých formátů (např. *.wrp, *.obj, *.pdf) pro možnost jejich využití v jiných programech, než jsou uvedeny v této práci. Stavební výkresy jsou uloženy ve výměnném formátu *.dwg (2007, 2018) programu *AutoCAD* a ve formátu *.pdf umožňujícím interaktivní práci s vrstvami. Výsledky z tvorby hypsometrie jsou uloženy ve formátu *.pdf a ve formátu *.dwg (2007, 2018) s rastrovým obrázkem s nejnižším stupněm komprese a nejvyšší možnou bitovou hloubkou (*.tiff). Monochromatická ortofota zájmových stěn jsou zpracována do formátu *.dwg (2007, 2018) a *.pdf s rastrovým obrázkem v nejvyšší možné kvalitě (*.tiff). Veškeré náležitosti této bakalářské práce jsou uvedeny v části *Přílohy* a jsou součástí práce na přiloženém DVD.

1. HISTORIE HRADU ANDĚLSKÁ HORA

První zmínka o existenci hradu Andělská Hora (tehdy Engelsburg) pochází z roku 1402, kdy byl majitelem bečovského panství Boreš z Rýzmburka. V době husitských válek byl hrad majetkem husitského hejtmana Jakoubka z Vřesovic, který byl z hradu vypuzen roku 1437 novým majitelem Kašparem Šlikem. Nový majitel se snažil o obnovu hradu, k čemuž mu každoročně přispíval král 100 uherskými florény. Patrně v této době byla postavena dnes nejstarší část hradu, čtverhranná obytná věž na nejvyšším místě hradní skály. Před rokem 1473 byl hrad dobyt královskými vojsky Jiřího z Poděbrad. V 80. letech 15. století za vlády Vladislava II. bylo pod hradem založeno městečko Andělská Hora.

Na přelomu 15. a 16. století byl pozdně gotický hrad podstatně rozšířen o nové opevnění vnitřní části a o předhradí s branami. V první polovině 16. století sloužil hrad jako hlavní rezidence Nejvyššího kancléřského českého království Jindřicha IV. Za tohoto majitele došlo k poslední významné stavební činnosti na hradě, kdy byl na východní straně hradu vybudován renesanční dvoupatrový palác.

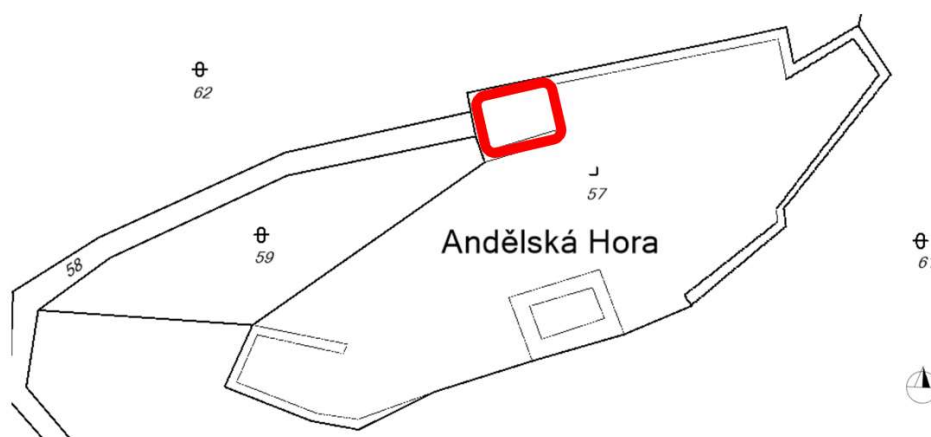
V době, kdy byl majitelem hradu Heřman Černín z Chudenic, byl hrad roku 1635 vyplněn švédskými vojsky. Až po roce 1648 dává hrad opravit Humprecht Jan Černín. Roku 1718 postihl městečko rozsáhlý požár, který se přenesl až na hrad a znamenal tak pro hrad zkázu. Následně hrad vystřídal několik majitelů, až se roku 1868 dostal opět do majetku Černínů. Ti jej drželi do roku 1945, kdy se hrad stal majetkem československého státu. [1]



Obr. 1: Plán hradu podle F. A. Hebera, zdroj [2]

1.1. ZADANÁ ČÁST OBJEKTU

Přístup z předhradí do nádvoří vnitřního hradu ovládla Druhá brána (Obr. 2), která byla postavena jako jednopatrová vstupní věž s křížově zaklenutým průjezdem a menší vrátnicí na jižní straně. Z hranolové stavby se dochovaly jen obvodové zdi s vnitřním i vnějším segmentovým obloukem vchodu (Obr. 3). Výrazná spára v severní zdi může být dokladem existence kulisovité brány, na kterou mohla východním směrem navazovat pouze palisáda. Těsně za bránou po pravé straně stával zděný přístřešek, ve kterém bývala ve skále vytesána cisterna. [1]



Obr. 2 Snímek katastrální mapy s vyznačením zadané části objektu



Obr. 3 Fotografie zadané části objektu, autor Ing. J. Hodač, Ph.D.

2. POUŽITÉ TECHNOLOGIE A PŘÍSTROJE

Předmětem zaměření byl členitý objekt z kamenného zdiva, který by ve výsledné dokumentaci měl být prezentován ve formě prostorového modelu. Jednou z vhodných technologií pro sběr prostorových dat je metoda laserového skenování. Tato technologie byla vybrána i pro získání dat k této práci. Její výhodou jsou zejména časová nenáročnost, vysoká přesnost pořizovaných dat a relativně rychlé zpracování 3D výstupů. Výsledný 3D model musí být před tvorbou dokumentace transformován do souřadnicového systému. V případě této práce se jednalo o polohový systém S-JTSK, do kterého byl model transformován pomocí identických bodů. Zaměření identických bodů proběhlo v terénu geodeticky. Připojení k výškové síti, v tomto případě Bpv, proběhlo v terénu metodou GNSS.

Jak je uvedeno později v kapitole 3. *Měření v terénu*, bylo nutné opakovat výjezd týkající se geodetického zaměření objektu. V první etapě byly použity přístroje zapůjčené katedrou Speciální geodézie na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického v Praze. Měřická síť byla vybudována GNSS přijímačem *Leica Viva* (typ antény GS15; výrobní číslo 771504, typ kontroleru CS15; výrobní číslo 767869). K měření identických bodů prostorovou polární metodou byla použita totální stanice *Leica TS06* (výrobní číslo 765290). Pro měření v druhé etapě byl k budování měřické sítě využit GNSS přijímač *SOUTH S82T*, k měření prostorové polární metody byla použita totální stanice *Sokkia SET2030R3*. Přístroje pro druhou etapu měření byly zapůjčeny soukromým subjektem a jsou blíže popsány v této kapitole.

2.1. POZEMNÍ LASEROVÉ SKENOVÁNÍ

Terestrické 3D skenovací systémy jsou technologie umožňující bezkontaktní určování prostorových souřadnic, 3D modelování a vizualizaci složitých staveb a konstrukcí interiérů, podzemních prostor, libovolných terénů, archeologických, památkových a dalších objektů s mimořádnou rychlostí, přesností, komplexností a bezpečností. Většina skenovacích systémů využívá nejmodernější pulzní laserovou technologii pro měření délek a určuje polohu bodů prostorovou polární metodou. [3]

Laserové skenování je jednou z novějších technologií získávání prostorových dat. Metoda poskytuje data v takové hustotě a přesnosti, že v některých případech neexistuje srovnání se stávajícími metodami měření. Jedná se o metodu neselektivní, tedy prostorové body nejsou vybírány měřičem, ale jsou měřeny v pravidelném rastru. Velikost skenovaného rastru může být nastavena měřičem podle požadované podrobnosti výsledného mračka bodů. Mezi základní charakteristické rysy laserového skenování se řadí přesnost, vysoká hustota měřených bodů, krátká doba potřebná pro pořízení velkého množství dat, vysoká automatizace zpracování měřených dat.



Obr. 4 Ukázka dat laserového skenování (vlevo) ve srovnání se skutečným stavem (vpravo), čerpáno z [4]

Mnoho aplikací zejména v oblasti projektování dnes vyžaduje prostorové zaměření objektů a vytvoření přesných 3D modelů. Laserové skenování je v současné době bezkonkurenčně nejefektivnější metodou. Pořízení výchozích dat je zkráceno na minimum, odpadá komplikované měření výškových kót na objektech nutné pro modelování tvarů a velikostí. Během měření není nezbytné dělat měřické náčrty a oměřovat složité detaily. Díky vysoké hustotě měřených bodů lze z dat zpracovat přesný 3D model, který zobrazuje objekt do nejmenších detailů s přesností v řádu centimetrů až milimetrů. Tím lze získat věrný obraz skutečnosti, který není jiným způsobem možné pořídit. Hlavními výhodami využití laserových skenovacích systémů jsou přesné a kompletní zaměření stávajícího stavu s výrazně vyšší produktivitou práce a s finančními úsporami, významné zkrácení práce v terénu, měření probíhající během stavby nebo za plného provozu, což má za následek výraznou redukci délky odstávky náročných provozů na minimum. Dalšími výhodami jsou i vysoká spolehlivost výsledků, eliminace chybných nebo nepřesných měření, automatizace umožňující výrazné zkrácení zpracování dat a snižující rizika chybného vyhodnocení, přesné a efektivní 3D modelování, rychlá vizualizace a generování 2D výkresů (půdorysy, řezy, pohledy apod.), velmi rychlé zpracování digitálních modelů terénu, zvýšení bezpečnosti práce v náročných podmínkách.

Použití metody laserového skenování snižuje na minimum nebo téměř odstraňuje nutnost opakovaných návštěv na zájmovém území pro doplnění informací, které bývají většinou zapotřebí později, v důsledku opomenutí, změny rozsahu projektu nebo dodatečně vyžádaných informací. V případě zaměřování staveb, složitých technologických celků, konstrukcí nebo průmyslových podniků je téměř vždy zpracována kvalitnější a podrobnější projektová dokumentace, zachycující i drobné detaily, které mohou být velmi důležité zejména při projektech rekonstrukcí. Laserové skenovací systémy snadno zaznamenávají přesnou geometrii drobných prvků, jako jsou tenké závěsy potrubí, kolejnice, trolejové vedení, signalizační zařízení, kabelové lávky apod., čímž dodavatelům a konstruktérům výrazně zjednodušují práci. Při zaměřování jednotlivých bodů na povrchu objektu nemusí být vždy jasné, který bod byl zaměřen. Díky vysoké hustotě bodů laserového skenování není pochyb o tom, kde je např. roh stavby, protože je zachycen celý povrch objektu. Skenování umožňuje přesné zaměřování povrchových ploch, zejména nepravidelných. Díky vysoké hustotě bodů mohou být zachyceny i drobné nerovnosti povrchu či terénu, které mohou být při použití klasických metod opomenuty. Výsledkem jsou velmi přesné digitální modely terénu, přesnější objemové výpočty při určování kubatur apod. Skenování eliminuje chyby jednobodových měření, vylučuje chybná nebo nepřesná měření a není nutné odhadovat rozměry jednotlivých skenovaných částí. Rychlost měření umožňuje dokumentovat jevy časově omezené, jako je například měření deformací stavebních objektů při živelných pohromách. Při automatizaci měření lze tuto metodu aplikovat

i pro měření posunů a deformací v nebezpečných prostředích. Metodu lze využít pro sledování průmyslových, chemických a dalších provozů v reálném čase. V současnosti je tato technologie běžně využívána v automobilovém průmyslu pro výstupní kontrolu karoserií. Nespornou výhodou použití laserových skenovacích systémů, doplněných o digitální obrazový záznam nebo videozáznam, je při automatizovaném zpracování rychlá a efektivní vizualizace měřených objektů.

Systém se skládá ze 3D skeneru, řídicí jednotky, vhodného softwaru pro řízení skenování, programu pro zpracování naskenovaných dat a příslušenství, jako jsou stativ, baterie, kabely, terče, referenční koule, referenční značky, atd.

Přestože se metoda laserového skenování v praxi již nějakou dobu využívá, stále nelze říci, že se podařilo objevit všechny její potenciály, a je možné, že se časem objeví další oblasti využití. Lze očekávat, že se metoda laserového skenování stane běžně používanou metodou ve všech oblastech stavebnictví, architektury, projektování, geodézie a v průmyslových aplikacích. [5]

2.2. SKENOVACÍ SYSTÉM SURPHASER 25 HSX

Zaměření objektu proběhlo pomocí skenovacího přístroje Surphaser 25 HSX (výrobní číslo: BS-SCHSX025858) model IR_X americké firmy Basis Software, Inc. Jedná se o 3D fázový hemisférický skener s předepsanou přesností pod 1 mm při rychlosti skenování až jeden milion bodů za sekundu. Zorné pole je $360^\circ \times 270^\circ$, tedy omezená oblast skenování, je pod přístrojem, což odpovídá hloubkovému úhlu 45° z každé strany. Vlnová délka je 685 nm (červená) a skener je zařazen do bezpečnostní třídy 3R podle normy ČSN EN 60825. [6] Přístroj využívá vlastní software *Surph Express Standard* a je nabízen v pěti typech podle pracovního dosahu (SR, IR_X, MR_X, ER_XQ4, ER_XS4). Model IR_X je určen pro střední dosah 0,4 až 30 m (Tab. 1). Pro použití skeneru a jeho obsluhu bylo nutné mít počítač s vhodným softwarem, externí paměť, stativ, baterie a kabely, pro připojení baterie i počítače ke skeneru. [7]¹



Obr. 5: 3D skener Surphaser 25 HSX, zdroj [8]

Technické specifikace:

Konfigurace	IR_X
Nejednoznačný rozsah	70 m
Doporučený pracovní rozsah	0,4 – 30 m
Úroveň šumu	0,12 mm na 3 m
Hustota skenování	216 000 – 1 200 000 bodů za sekundu
Typ laseru	CW
Vertikální hustota	24 – 90 bodů na 1°
Horizontální hustota	10 – 90 bodů na 1°
Váha	11 kg

Tab. 1: Technické charakteristiky skenovacího systému Surphaser 25 HSX (čerpáno z [7])

¹ Technické parametry byly převzaty z práce Bc. Zuzany Richterové, jelikož na oficiálních webových stránkách výrobce nebyly informace k danému přístroji k dispozici.

2.3. GNSS STANICE SOUTH S82T

Pro vybudování měřické sítě byl použit GNSS přijímač SOUTH S82T (výrobní číslo S8295C117164448GSN). Společnost SOUTH byla založena roku 1989 v čínském Guangzhou a specializuje se na vývoj a výrobu elektronických teodolitů, měřických sestav, GPS a lokalizaci vzdáleného měřiče.

GNSS stanice *SOUTH* jsou schopny přijímat signály GPS, GLONASS a GALILEO. Hlavní jednotka je integrována s anténním rozhraním GNSS, modulem GNSS a Bluetooth s dosahem do 50 m. Typ *S82T* se vyznačuje základovou deskou Trimble Maxwell s horizontální přesností $10\text{ mm} + 1\text{ ppm RMS}$ a vertikální přesností $20\text{ mm} + 1\text{ ppm RMS}$ v metodě RTK (Real Time Kinematic). Přístroj je charakterizován horizontální přesností $2,5\text{ mm} + 1\text{ ppm RMS}$ a vertikální přesností $5\text{ mm} + 1\text{ ppm RMS}$ pro statickou metodu. Horizontální přesnost $25\text{ mm} + 1\text{ ppm RMS}$ a vertikální přesnost $50\text{ mm} + 1\text{ ppm RMS}$ je stanovena pro metodu kódových měření. Diferenciální polohování SBAS (Satellite Based Augmentation Systems) je $< 5\text{ m}$. Inicializace spolehlivosti je výrobcem udávaná větší než 99.9 %, doba inicializace nižší než 8 s. Dvoufrekvenční anténa zabraňuje multi-path efektu a zvyšuje kvalitu vyhledávání družic. Přístroj podporuje výstupy ve formátu RINEX, CMR i NMEA. Dalšími výhodami přístroje je prachotěsnost, vodotěsnost proti dočasnému ponoření do hloubky 1 m, odolnost vůči pádu z 2 m na beton a provozní dobou delší než 4 hodiny v režimu RTK a 8 hodin ve statickém režimu. [9]

Metoda	Horizontální přesnost	Vertikální přesnost
RTK	$10\text{ mm} + 1\text{ ppm RMS}$	$20\text{ mm} + 1\text{ ppm RMS}$
Statická metoda	$2,5\text{ mm} + 1\text{ ppm RMS}$	$5\text{ mm} + 1\text{ ppm RMS}$
Metoda kódových měření	$25\text{ mm} + 1\text{ ppm RMS}$	$50\text{ mm} + 1\text{ ppm RMS}$

Tab. 2 Některé technické charakteristiky GNSS přijímače SOUTH S82T

Veškerá měřená data jsou ukládána do paměti přístroje a následně exportována přes postprocessingový software.



Obr. 6: GNSS přijímač SOUTH S82T, zdroj [10]

2.4. TOTÁLNÍ STANICE SOKKIA SET2030R3

Geodetické zaměření proběhlo pomocí totální stanice *Sokkia SET2030R3* (výrobní číslo 143169). Společnost Sokkia Co., Ltd., byla založena v roce 1920 v japonském Tokiu pod názvem Sokkisha. Firma vyrábí přístroje pro měření v oblasti geodézie, stavebnictví, průmyslových měření, mapování a GIS. V roce 2008 byla společnost Sokkia získána společností Topcon, ale stále udržuje samostatnou značku. [11]

Totální stanice je navržena pro aplikace střední třídy přesnosti, provádí měření délek v jedné poloze dalekohledu a umožňuje jak měření na odrazný hranol, tak i měření bez hranolu. Laserovým paprskem je možné měřit na vzdálenosti 0,3 m až 350 m. Tento viditelný laserový paprsek může být vhodně použit jako ukazatel při vytyčování, vertikálním vyrovnání nebo měření jemných předmětů a cílení na ostré hrany. Přesnost měření délek na hranol je $3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ a rychlost měření je 1,3 s. Maximální vzdálenost pro měření na hranol je 5 000 m. Přijímací optika poskytuje ideální zachycení světla s minimální ztrátou. Laditelný optický filtr, zachycující více vzorků paprsků, poskytuje větší přesnost u obtížně měřitelných objektů. Přesnost měření horizontálních i vertikálních úhlů je 0,6 mgon. Totální stanice umožňuje transformaci souřadnic do jiného souřadnicového systému pomocí Helmertovy nebo lineární transformace. Pro práci s totální stanicí se zakládá samostatná zakázka, nastavují atmosférické podmínky a typ cíle (odrazný hranol + konstanta, minihranol, štítek, folie, atd). Veškerá měřená data jsou ukládána do interní paměti, která pojme až 9 000 záznamů. Kapacitu paměti lze zvýšit vložením paměťové karty. Měřená data se z přístroje vyhrají pomocí USB portu. [12]



Obr. 7 Sokkia SET2030R3, zdroj [13]

3. PRÁCE V TERÉNU

Před samotným zahájením práce v terénu je nezbytné seznámit se s projektem, jeho cíli, požadovanou přesností a prezentací výstupních dat. Prvotním krokem je nalezení zájmové lokality a zjištění dostupnosti. Vzhledem k této skutečnosti bude volena forma dopravy na místo. V druhém kroku se zajišťují dostupné mapové podklady, které utvářejí představy o zájmové lokalitě. Avšak v mnoha případech se stane, že mapové podklady nejsou v souladu se skutečností. Při online nahlížení do operátu katastru nemovitostí jsou sice data aktuální, ale zápis vkladu trvá až 30 dní a je tedy možné, že ve skutečnosti budou v zájmové lokalitě prvky, které nejsou v mapových podkladech zobrazeny. Stejně tak letecké ortofoto snímky jsou zastaralé v řádech měsíců, v krajním případě se může stát, že vyhodnocené snímky pocházejí z jiného ročního období, než kdy budou prováděny terénní práce. Takové podklady by byly nevyhovující, jelikož by nezachycovaly skutečný obraz terénu a blízkého okolí. Z mapových podkladů je také nezbytné určit možnosti přístupu a zvolit nejvhodnější z nich. Po nalezení dostatečného množství mapových podkladů a získání představy o problematice, je potřeba vhodně zvážit postup prací a zvolit metody sběru dat. Po splnění předchozích kroků je možné vydat se do terénu, prošetřit zájmové území, věrohodnost mapových podkladů a vhodnost zvolených metod sběru dat.

3.1. PŘÍPRAVNÉ PRÁCE

Na podkladně zaslaných dokumentů Mgr. Filipem Prekopem; NPÚ ú.o.p. v Lokti, proběhlo seznámení s objektem, požadovanými výstupy práce a nastudování problematiky.

Bylo rozhodnuto, že pro správné umístění prostorového modelu a stavebních výkresů bude nutné provést geodetické připojení na body PPBP v souřadnicovém systému S-JTSK. Na webových stránkách Českého úřadu zeměměřického a katastrálního byly v okolí hradu vyhledány připojovací body podrobného polohového bodového pole. Pro výškové připojení nebyly v blízkosti nalezeny žádné vhodné body, proto bylo rozhodnuto, že budou použity body měřické sítě určené technologií GNSS.

3.2. REKOGNOSKACE TERÉNU

Jako prvotní praktická činnost v terénu se provedla rekognoskace terénu a zvolil se vhodný měřický postup. Za hlavní metodu sběru dat byla vybrána metoda pozemního laserového skenování, pro souřadnicové připojení pak geodetické měření. Předpokládaný počet stanovisek pro skenování byl určen na 20 a 6 stanovisek na geodetické zaměření. Schéma stanovisek pro skenování je uvedeno v *příloze 1* tištěné práce. Schéma stanovisek geodetického zaměření je uvedeno v *příloze 2* tištěné práce. Stanoviska pro skenování by měla být umístěna kolem dokola celého objektu, z vnitřní i vnější strany. Nadále by měla být umístěna ve třech výškových úrovních, tj. v přízemí, prvním patře a v úrovni druhého patra. Předpokládaná doba provedení měřických prací by měla být v rozsahu dvou dnů, jeden den na snímkování, druhý den na geodetické připojení. Během rekognoskace terénu bylo zjištěno, že bod PPBP, nacházející se na hradě, je poškozen a geodetické připojení tedy musí být provedeno jinak. Bylo rozhodnuto, že se provede současné polohové a výškové připojení technologií GNSS.

3.3. MĚŘENÍ

Jako vhodné roční období pro sběr dat laserového skenování se volí zima, kdy je skenování v terénu nejméně ovlivněno okolními vlivy. V tomto období není vegetace hustá a zakrývá zájmový objekt minimálně. Pokud se v zájmové lokalitě nenachází sníh ani námraza, nedojde k lomu slunečních paprsků a tím i ke snížení přesnosti měření. Vzhledem k teplotě nedochází k významné refrakci. S ohledem na výše uvedené skutečnosti proběhlo snímkování dne 8. 12. 2016 od 10 do 16 hodin v lokalitě Andělské Hory v Karlovarském kraji. V den sběru dat bylo jasno, teplota okolo 10°C, mírný vítr. Již z počátku skenování došlo k vybití baterie a bylo třeba se odkázat na zdroj elektrického napětí. Naštěstí se na hradě v Donjonu (obytné věži) nacházela zásuvka, ke které šlo pomocí prodlužovacího kabelu připojit přístroj. Během skenování došlo v ojedinělých případech k vstoupení osoby do skenované oblasti a tím ke vzniku chybného skenu. Po nastání této skutečnosti se provedlo nové skenování ze stejného stanoviska. Celkově nedošlo k chybnému sběru dat, a tak nebylo nutné výjezd za účelem skenování opakovat.

Geodetické měření proběhlo 29. 3. 2017 od 9 do 15 hodin za polojasného, avšak větrného počasí. Nejprve bylo rozmyšleno a vhodně zvoleno bodové pole. To se budovalo s ohledem na využití polygonového pořadu a rajónů. Soupravou umožňující GNSS měření se tyto body zaměřily pomocí metody RTK. Totální stanicí se bezhranově zaměřily identické body, jejichž poloha se zaznamenala do fotografií pořízených na místě a do měřických náčrtů. Některé body byly kontrolně zaměřeny z více stanovisek. Po zaměření prostorovou polární metodou následovalo druhé měření bodů sítě soustavou GNSS.

Veškeré pomůcky byly zapůjčeny katedrou Speciální geodézie na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického v Praze.

Jelikož bylo po vypočtení geodetického měření zjištěno, že výsledky nevyhovují, bylo nutné výjezd a měření opakovat. Během měření došlo k rozdílnému značení bodů měřické sítě v přijímači GNSS a označení bodů orientace při zadávání do totální stanice. Přestože byla tato problematika poznamenána a následně při kancelářských pracích opravena, vyskytly se další komplikace. Třebaže si byl měřič jist cílením na správné body, při výpočtu identických bodů zaměřených z více stanovisek, se body v jednotlivých souřadnicích lišily až v řádech decimetrů. V případě výpočtu rajonu z bodu č. 4006 se zaměřené identické body lišily v jednotlivých souřadnicích dokonce o několik metrů od dříve vypočítaných souřadnic. Avšak tomuto stanovisku se přikládala nejnižší váha z důvodu nestability blízkého okolního podloží, které bylo ovlivněno pohybem měřiče i zapisovatele, ale také podnebnými podmínkami.

Nové geodetické připojení proběhlo 13. 4. 2017 od 15 do 19 hodin. Během měření bylo polojasno, teplota se pohybovala okolo 12°C. Měření proběhlo stejným postupem jako v předchozím případě, avšak s větší pečlivostí. Využité pomůcky byly zapůjčeny soukromým subjektem. Po vypočtení byly výsledky shledány za vyhovující.

3.3.1. SKENOVÁNÍ OBJEKTU

Po vhodném rozmístění stanovisek se na prvním z nich postavil stativ tak, aby jeho hlava byla přibližně ve vodorovné poloze. Schéma stanovisek je uvedeno v *příloze 1* tištěné práce. Následně byl na stativ připevněn pomocí upínacího šroubu skener, který se upnul ve vhodné poloze vzhledem ke stěnám (vždy souběžně s jednou vybranou stěnou) a pomocí kabelů byl připojen k baterii a počítači. Po zapnutí skeneru klíčkem proběhlo jeho zahřátí (otočení kolem os) a byl zároveň zprovozněn software v počítači.

Použitý program *Surph Express Standard* je určen k ovládání skenovacího systému, pro nastavení charakteristik skenování, pro ukládání naskenovaných dat, jejich následné prohlížení a export. Jedním z prvních kroků bylo nastavení výchozích parametrů. V záložce *Scan* (Obr. 8) se volil rozsah skenovaného území. Lze skenovat v celém rozsahu 360° x 270°, v rozsahu od-do, kdy lze nastavit rozsah měření podle vodorovného úhlu nebo metodou *Preview*. U metody *Preview* skener pořídí sken s malou hustotou bodů za relativně krátký časový úsek. Poskytne tak měřiči náhled na skenované území. Z *Preview* může měřič vybrat pouze zájmovou oblast, která bude následně skenována. Pro potřeby této bakalářské práce se volil celý rozsah, tedy 360°. Dále se volila požadovaná hustota skenování, pro naše účely byla nastavena stopa laserového svazku na hodnotu 5 mm na 10 m.



Obr. 8: Ukázka záložky *Scan* v programu *Surph Express Standard*

Po provedení veškerého nastavení program automaticky vypočítá jak předpokládanou dobu trvání jednoho skenu, tak i velikost datového souboru. Pro skenování v celém rozsahu trvalo měření jednoho skenu přibližně 10 minut.

Nastavení výše uvedených parametrů probíhalo na každém stanovisku. Pořídilo se celkem 25 skenů. Na dvou stanoviscích došlo k nevhodnému pořízení skenů. Nevhodným skenem se v tomto případě rozumí špatné nastavení parametrů před zahájením skenování na stanovisku, nebo vstoupení osoby navštěvující hrad do oblasti skenování. Při zjištění toho případu se na stanovisku pořídily skeny nové a chybné nebyly zahrnuty do výpočtů. Nevhodně pořízené skeny jsou patrné ze schématu stanovisek pro skenování přiloženého v *příloze 1* této práce. Celkový počet stanovisek pro skenování byl 23, 16 pro vnější obvod Druhé brány, 7 pro vnitřní obvod. Z toho bylo 12 v přízemní části, 6 v úrovni prvního patra a 5 v úrovni druhého patra. Současně s pořizováním skenů se prováděla fotodokumentace objektu, která může být následně využita pro pomocné zpracování např. metodou průsekové fotogrammetrie. Avšak v této práci se fotogrammetrického zpracování nevyužilo.

3.3.2. GEODETICKÉ ZAMĚŘENÍ

Vhodně zvolené bodové pole sestávalo z celkem 6 bodů. Z toho 5x kolík zatlučený do země a 1x napínáček umístěný do dřevěné podesty. Schéma měřické sítě je uvedeno v *příloze 2* tištěné práce. Na dřevěné kolíky se vyznačily křížky, na jejichž střed byl centrován GNSS přijímač a metodou RTK byly změřeny souřadnice bodů s dobou observace 10 sekund. Touto metodou bylo možné zaměřit pouze 4 body, což byl dostačující počet.

Z již zaměřených bodů měřické sítě určených metodou GNSS se totální stanicí *Sokkia* zaměřily identické body. Nejprve se provedla orientace na všechny viditelné body sítě v obou polohách dalekohledu. Schéma a metody určení bodů měřické sítě jsou uvedeny v *příloze 2* tištěné práce. V této příloze jsou také naznačeny orientace na měřených bodech. V tomto případě se provádělo úhlové měření na hranol včetně vzdáleností. Po zaměření orientací se přešlo k samotnému zaměření identických bodů. Tyto body byly voleny na význačných, jasně definovaných místech, aby je bylo možné identifikovat ve 3D modelu. Takto zvolené, rovnoměrně rozmístěné body po celém objektu se vyznačily do pořízených fotografií a náčrtů přímo na místě během měření. Fotografie s vyznačením identických bodů jsou uvedeny v příloze *1_4_identické_body*. Identické body se měřily bezhranolově, kontrolně z více stanovisek. Celkem bylo zaměřeno 20 identických bodů prostorově rovnoměrně rozmístěných na objektu. Ve všech případech byla měřena šikmá délka, vodorovný a zenitový úhel, aby bylo možné určit prostorové souřadnice identických bodů.

Po dokončení prostorového polárního měření se znovu zaměřily body sítě metodou GNSS. Tím byl zajištěn minimální časový rozestup měření. Měření metodou GNSS je nutné opakovat 2x, nejméně po jedné hodině, čímž je zajištěna správnost měření. Opakovaným měřením se kontroluje správná funkčnost přístroje a nevychýlení satelitů ze své dráhy. Ovšem problematika měření metodou GNSS přesahuje rozsah této práce. Nutnost nezávislého dvojího měření se vztahuje k platné katastrální vyhlášce, kterou je v oboru geodézie nutné dodržovat.

4. ZPRACOVÁNÍ 3D MODELU

Samotné tvorbě prostorového modelu předchází zpracování měření pořízeného v terénu. V tomto případě se jedná o zpracování měření GNSS přijímačem, výpočet souřadnic identických bodů zaměřených prostorovou polární metodou, zpracování jednotlivých pořízených skenů a následném zpracování modelu do konečné podoby.

4.1. GEODETICKÉ VÝPOČTY

Veškeré výpočty probíhaly v programu *GROMA v.11.1*. Geodetický systém *GROMA* je určen ke komplexnímu zpracování geodetických dat od surových údajů přenesených z totální stanice až po výsledné seznamy souřadnic, výpočetní protokoly a kontrolní kresbu. [14]

4.1.1. ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ GNSS

Naměřená data byla vyexportována z GNSS přijímače. Získané souřadnice bodů byly v polohovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv. Aby nedošlo k přepsání měřených bodů při dvojím zaměření v terénu, byla pomocná měřická stanoviska ukládána pod jiným číslem bodu (např. bod 4001 odpovídá v druhém zaměření bodu 4011). V prvním kroku tedy došlo k přečíslování těchto bodů ve výstupním souboru. Soubor byl následně nahrán do programu *GROMA*, kde bylo dvojí měření souřadnic zprůměrováno pomocí funkce *Dávkové průměrování souřadnic*. Během výpočtu byla kontrolována odchylka jednotlivých souřadnic, která nepřesáhla 1 cm v poloze a 3 cm ve výšce. Více k dosažené přesnosti metody GNSS je uvedeno v kapitole 6. *Zhodnocení přesnosti*. V tomto kroku nedošlo k žádným komplikacím. Měřená data jsou uložena v příloze *1_1_1_mereni_GNSS* a protokoly o výpočtu jsou v příloze *1_2_1_prumer_GNSS*.

4.1.2. ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ Z TOTÁLNÍ STANICE

Z totální stanice byla vyexportována surová data ve formátu *.sdr. Soubor je uložen v příloze *1_1_2_mereni_TS*. Tento soubor se nahrál do programu *GROMA*, kde byl upraven. Ze zápisníku měření se nejprve smazala chybná měření. Následně bylo nutné označit měření na body sítě, které sloužily jako orientace. Zpracování zápisníku spočívalo v redukci šikmých délek na vodorovné délky, zpracování měření v obou polohách dalekohledu, redukci směrů, opravě indexové chyby, opravě refrakce, zpracování opakovaných měření a zpracování obousměrně měřených délek. Zpracovaný měřický zápisník je uložen v příloze *1_2_4_zapisnik_TS*.

Z takto zpracovaného zápisníku bylo možné vypočítat vetknutý polygonový pořad, kterým se určily souřadnice bodů měřické sítě v místní soustavě. Pomocný souřadnicový systém místní soustavy byl zvolen na bodech 4001 a 4005. Do bodu 4001 byl vložen počátek, souřadnicová osa X byla vložena do směru na bod 4005. Výpočet polygonového pořadu proběhl i výškově. Dosažená přesnost je uvedena v příloze této práce, konkrétně v příloze *1_2_5_vypocet_polygonoveho_poradu*. Ze známých souřadnic bodů měřické sítě vypočtené vetknutým polygonovým pořadem a upraveného měřického zápisníku bylo možné vypočítat pomocí polární metody souřadnice jednotlivých identických bodů v místní soustavě souřadnic. Výpočet měřického zápisníku v místní soustavě je uložen v příloze *1_2_6_vypocet_zapisniku_MS*. Vypočtené souřadnice v místní síti jsou uloženy v příloze *1_3_1_souradnice_MS*. Během výpočtu byly kontrolovány odchylky souřadnic u kontrolně zaměřených identických bodů. Jejich rozdíl nepřesáhl 5 cm a tato problematika je více přiblížena v kapitole 6. *Zhodnocení přesnosti*.

Ze známých souřadnic bodů měřické sítě určených metodou GNSS, v polohovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv, a zpracovaného zápisníku bylo možné pomocí polární metody vypočítat souřadnice identických bodů v S-JTSK a Bpv. Výpočet identických bodů proběhl stejně jako pro místní soustavu souřadnic, jen s jinými vstupními souřadnicemi měřické sítě. Výpočet měřického zápisníku v soustavě S-JTSK je uložen v příloze *1_2_7_vypocet_zapisniku_JTSK*. Vypočtené souřadnice v systému S-JTSK jsou uvedeny v příloze *1_3_2_souradnice_JTSK*.

Jelikož byly známy body ve dvou souřadnicových systémech, bylo možné mezi nimi provést transformaci. Tato transformace slouží k porovnání vnitřní přesnosti (přesnost místního souřadnicového systému) s vnější přesností (přesnost systému S-JTSK a Bpv). Též slouží ke kontrole správnosti měřených dat a provedených výpočtů. Provádění kontrol je pro měřické práce nezbytné. Protokol a výsledky provedené transformace jsou uloženy v příloze *1_2_8_transformace_souradnic*. Transformační klíč je pak uložen v příloze *1_2_9_transformacni_klic*. Jako identické body pro shodnostní transformaci mezi místním souřadnicovým systémem a systémem S-JTSK včetně výškového systému Bpv byly použity body měřické sítě, a jelikož se takto vypočtené identické body od původně určených nelišily o více než 1 cm, byly souřadnice shledány za vyhovující přesnosti a použity pro následnou transformaci modelu.

4.2. ZPRACOVÁNÍ DAT LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

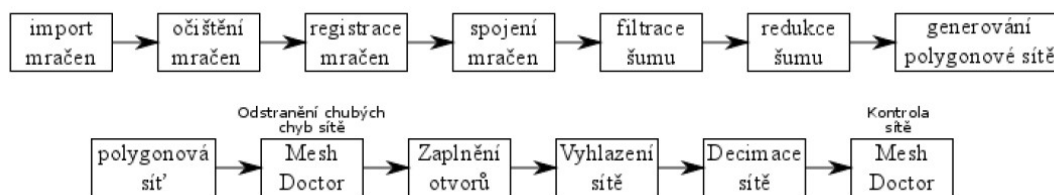
4.2.1. EXPORT DAT

Software *SurphExpress Standard*, určený pro laserové skenování, ukládá naměřená data automaticky ve formátu *.c3d. Tento formát nelze otevřít v mnoha jiných softwarech, než v přímo dodávaném se skenerem. V programu *SurphExpress Standard* lze data pouze prohlížet, nikoli je upravovat a dále s nimi pracovat. Bylo nutné data převést do formátu *.xyz, který poskytuje informace o prostorových souřadnicích bodů. V rámci exportování mohla být nastavena zájmová oblast, v případě této práce byla volena celá naskenovaná oblast, aby nedošlo ke ztrátě naměřených dat. Export skenů byl proveden hromadně pomocí skriptu naprogramovaného Ing. Jaroslavem Šedinou. Získaný formát *.xyz je textový soubor, jenž je možné otevřít v programu *Geomagic Studio*, byl následně použitý pro zpracování.

4.2.2. SOFTWARE GEOMAGIC STUDIO

Data získaná metodou laserového skenování byla upravována (Obr. 9) v programu *Geomagic Studio*, kde byl vytvořen i výsledný 3D model. Program je produktem americké firmy Geomagic Inc., založené roku 1997, zabývající se navrhováním a použitím 3D technologií. Skenovací a designová řešení se používají k zachycení a modelování 3D obsahů z fyzických objektů. Začátkem roku 2013 byla firma získána společností 3D Systems.

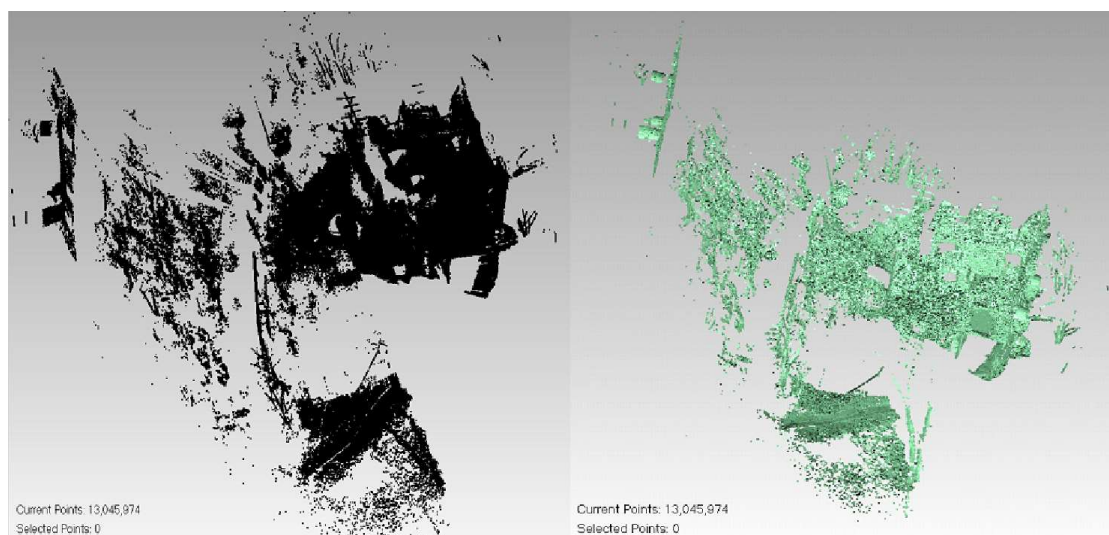
Geomagic Studio nabízí uživatelsky příjemný software s vysoce efektivními prostředky pro převod dat 3D skenování. Má intuitivní uživatelské rozhraní nabízející zjednodušené příkazy pro složité procesy, přesné zpracování povrchů, výkonné automatické čištění dat shluků bodů a rychlé povrchové opravy modelů. Aplikace je schopna exportovat data do výrobních a analytických systémů a systémů CNC (*Computer Numeeric Control*), 3D tisku a CAD (*Computer Aided Design*). [15]



Obr. 9 Schéma úprav 3D modelu v programu Geomagic Studio, autor Ing. Jaroslav Šedina

4.2.2.1 Import dat

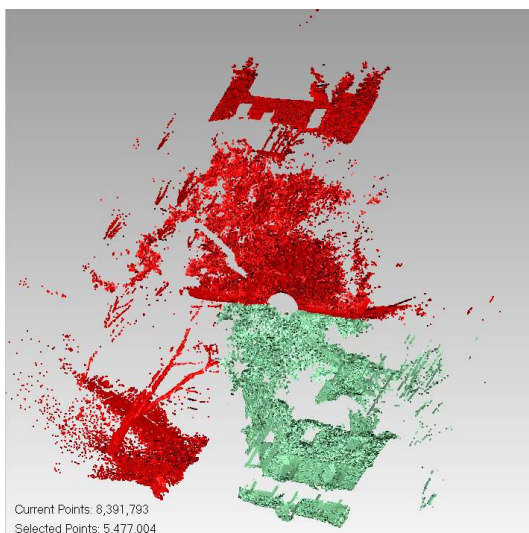
Skeny převedené do formátu *.xyz byly jednotlivě importovány do programu *Geomagic Studio*. Ve všech případech byl poměr vzorkování načítaných dat volen 100%, pracovní jednotky nastaveny na metry. Po načtení surových dat (Obr. 10) byl aplikován nástroj *Stínování (Shading)* pro vystínování bodů (Obr. 10). V levém dolním rohu je zobrazen celkový počet bodů mračna. V případě této práce se hodnota pohybovala přibližně od 5 do 35 milionů bodů (velikost 200 až 900 MB) na jedno mračno. Čím více bodů mračno obsahovalo, tím více času zabraly veškeré programové procesy.



Obr. 10: Surové (vlevo) a vystínované (vpravo) mračno v software Geomagic Studio

4.2.2.2 Ořezání dat

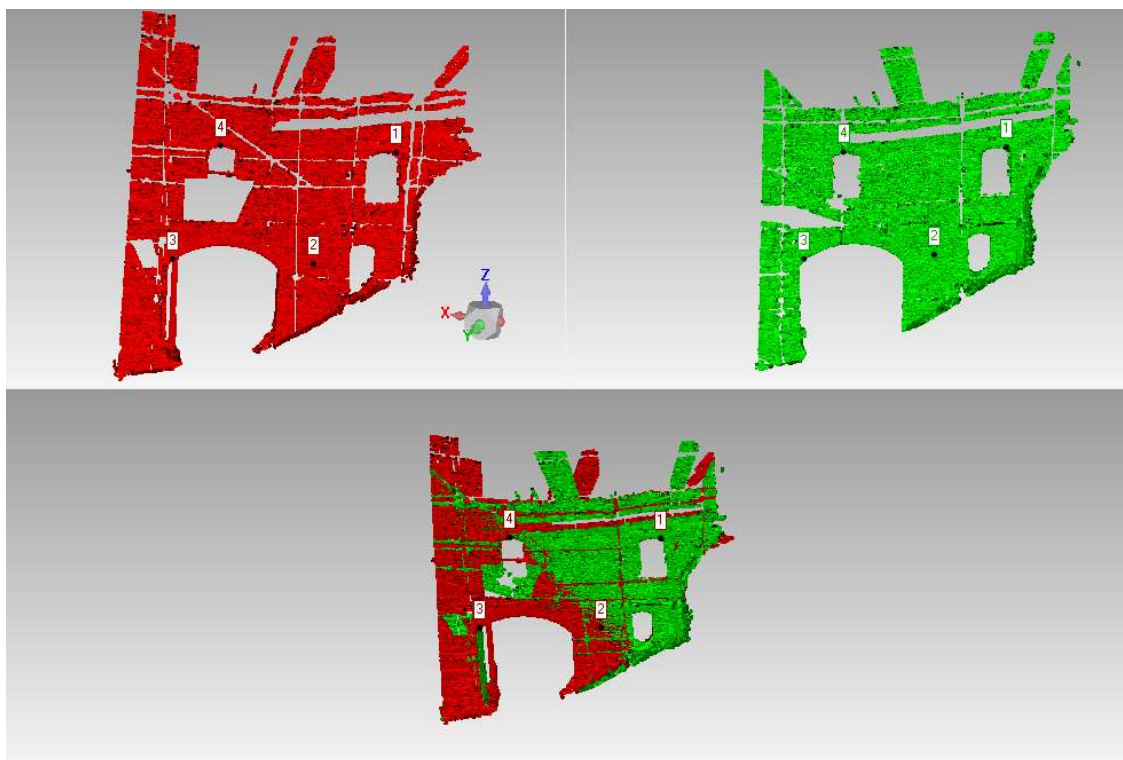
Při skenování metodou *Full Size* dochází k zaznamenání dat, která nejsou předmětem zpracování, např. data získaná průhledy oken či dveří, osoby, stromy a další různé překážky nepotřebné pro předmět zaměřování. Tato přebytečná data bylo nutno odstranit. Ořezání dat proběhlo pomocí *Nástroje pro výběr (Selection Tools)*, kde bylo možné volit metodu *Obdélník (Rectangle)*, *Elipsa (Ellipse)*, *Malířský štětec (Paintbrush)*, *Laso (Lasso)*. Bylo také možné zvolit metodu *Region (Custom Region)*, kde lze vybírat přebytečné části lomenou čarou. Předměty spadající mimo zájmovou oblast byly označeny (Obr. 11) a odstraněny. Tím došlo ke značnému snížení počtu bodů.



Obr. 11: Výběr pro odstranění přebytečných dat (červená část)

4.2.2.3 Registrace dat

Ke spojení jednotlivých, již ořezaných mračen do celku, byla použita manuální registrace, během které byla zvolena možnost registrace pomocí více bodů. Při této funkci bylo okno rozděleno do tří částí (Obr. 12), kde v horní části jsou dvě okna – na levé straně je mračno zvolené jako *Fixní (Fixed)*, na pravé straně je mračno zvolené jako *Plovoucí (Floating)* a v dolní části je vidět výsledek spojení. Plovoucí mračno bylo třeba transformovat do souřadnicového systému zvoleného fixního mračna. Toho bylo dosaženo pomocí spojovacích bodů. U těchto bodů není potřeba znát jejich souřadnice, ale musí být zvoleny takové body, které jsme schopni jednoznačně identifikovat na obou mračnecích. Minimální počet bodů pro výpočet transformace jsou 3. Tyto body by měly být rovnoměrně rozmístěny po celém zájmovém území. Pro potřeby této práce bylo spojeno 23 skenů. K manuální registraci byl vždy použit nadbytečný počet spojovacích bodů.



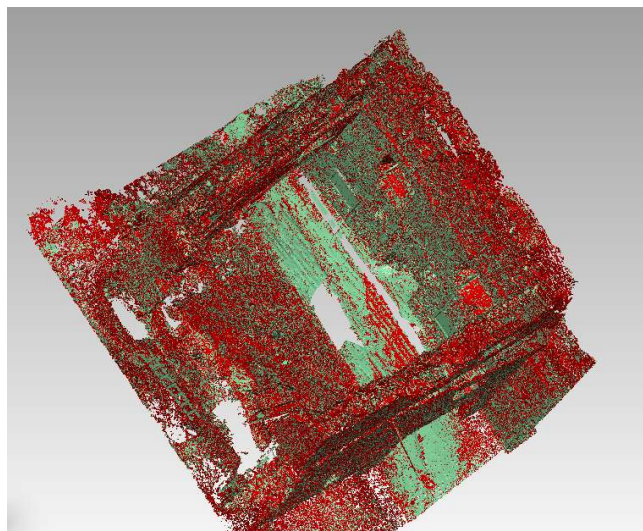
Obr. 12: Ukázka manuální registrace

4.2.2.4 Spojení dat

Po registrování všech skenů do jednoho modelu byla potřeba tento model sloučit do jednoho celku. To bylo provedeno pomocí funkce *Kombinovat bodový objekt (Combine Point Object)*. Spojením dat do jednoho objektu a zvolením vhodného pojmenování došlo k usnadnění následujících operací.

4.2.2.5 Filtrace dat

Již spojený model bylo potřeba zbavit přebytečných dat. Nejprve se model manuálně očistil o případné předměty nespádající do objektu zájmu. Automaticky se vybraly odlehlé body pomocí funkce *Odpojené součásti (Disconnected Components)* s nízkým stupněm odlehlosti. Tato funkce vyhodnocuje blízkost bodů a vybírá skupiny bodů, které jsou vzdálené od jiných skupin. V tomto případě může dojít k chybnému vyhodnocení programem. Některé skupiny bodů mohou být vybrány jako odlehlé, přestože jsou součástí modelu a mají pro výsledný celek vypovídající hodnotu. Proto byly takto vybrané body manuálně překontrolovány a podle potřeby odstraněny z výběru. V dalším kroku se vybraly odlehlé body pomocí funkce *Odlehlé (Outliers)*. Tato funkce vybírá body, které jsou alespoň dané vzdálenosti od většiny ostatních. Citlivost byla nastavena na 90, přičemž bylo dosaženo maximálního výběru bodů (Obr. 13). Takto nalezené body byly odstraněny. Proces byl opakován, dokud se počet vybraných bodů nesnižoval o konstantní hodnotu. V tomto kroku se pomocí funkce *Redukovat nerovnosti (Reduce Noise)* odstranila chyba skeneru. Došlo k přesunutí bodů na statisticky správná místa, výsledkem bylo hladší uspořádání bodů. Funkce měla na výběr několik filtrů k použití, avšak vzhledem ke zkušenostem z předchozích projektů a doporučení Ing. Jaroslava Šediny byl použit agresivní filtr, pomocí něhož lze dosáhnout nejlepších výsledků.

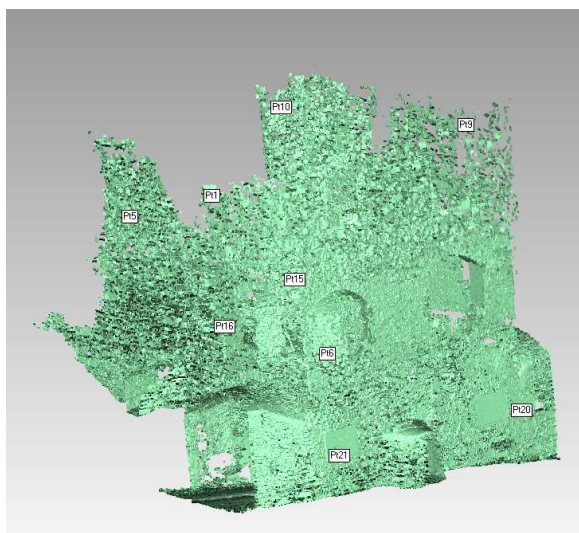


Obr. 13 Ukázka filtrace dat (červeně označené body budou odstraněny)

4.2.2.6 Transformace modelu

Očištěný model bylo potřeba transformovat do polohového souřadnicového systému S-JTSK a výškového systému Bpv. Transformace do těchto souřadnicových systémů se provádí, aby bylo možné získat správná data pro tvorbu dokumentací. Před odměřováním identických bodů z modelu a samotnou transformací je potřeba zkontrolovat, zda se model nachází v nulových hodnotách. Tedy že počátek souřadnicové soustavy modelu není nikterak posunut ani pootočen. Kontrola se provedla v záložce *Transformace (Transform)*, funkci *Editovat (Edit)*. Případný posun nebo pootočení, vzniklý sjednocením dat, byl nastaven ve všech případech na hodnotu nula.

Výběr identických bodů (Obr. 14) probíhal manuálně pomocí funkce *Bodové souřadnice (Point Coordinates)*. Po kliknutí na vybraný bod program vypíše modelové souřadnice XYZ a exportuje je do textového souboru. Hledání identických bodů v modelu bylo prováděno s velkou pečlivostí za pomoci náčrtů a pořázených fotografií během geodetického zaměření.



Obr. 14 Ukázka vyhledání identických bodů

Po sejmutí všech identických bodů byl pro výpočet transformačního klíče použit program *XYZTrans*. Jedná se o speciální program vyvinutý na transformaci prostorových kartézských souřadnic Prof. Ing. Martinem Štronerem, Ph.D. Program umožňuje výpočet transformačního klíče pro nejpoužívanější typy prostorové transformace (afinní, podobnostní, shodnostní) a následnou transformaci podrobných bodů. Vstupem do programu je textový soubor obsahující souřadnice identických bodů. Po načtení souřadnic lze identické body z výpočtu jednotlivě vylučovat, program vždy počítá pro každý identický bod pokles směrodatné odchylky jednotkové při jeho vyloučení. [16] Jako vstupní soubor se zvolil soubor se souřadnicemi v modelové soustavě, výstupním souborem byly souřadnice v S-JTSK. V obou souborech musí být body ve stejném pořadí, shodně očíslovány a jednotlivé hodnoty odděleny mezerami.

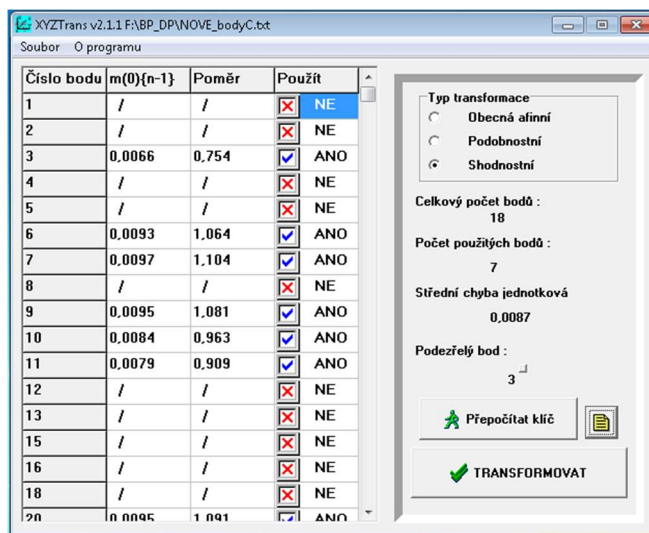
Na základě zkušeností z předchozích prací byly souřadnice S-JTSK před transformací upraveny. Souřadnice byly redukovány, konkrétně o hodnotu 843 930 m v ose Y, 1 014 780 m v ose X a 700 m v ose Z. Dále bylo potřeba souřadnice převést na kartézské, se kterými pracuje program *Geomagic Studio*. Toho se docílilo přepočtem:

$$X_{\text{kartézské}} = -Y_{\text{S-JTSK}}$$

$$Y_{\text{kartézské}} = -X_{\text{S-JTSK}}$$

$$Z_{\text{kartézské}} = Z_{\text{Bpv}}$$

Pro tuto práci byla zvolena shodnostní transformace, která nemění měřítko transformovaných dat a zachovává skutečné rozměry. Geodeticky bylo zaměřeno 20 identických bodů, v modelu bylo nalezeno 18 bodů. Po odstranění podezřelých bodů z výpočtu a dosažení střední chyby jednotkové menší než 1 cm bylo použito 7 identických bodů. Vypočtený transformační klíč byl uložen do protokolu, uvedeného v příloze *1_4_3_transformacni_klic*, který obsahuje informace o bodech zahrnutých do výpočtu, dosaženou střední jednotkovou chybu, matici rotace, vektory translace a měřítko v jednotlivých osách.



Obrázek 11: Ukázka transformace v programu XYZTrans

Samotná transformace modelu byla provedena pomocí funkce *Přesné pohyby* (*Exact Movements*). Funkce přesune objekt na určitou vzdálenost nebo na libovolné místo ve výchozím souřadnicovém systému. Po zadání translace a rotace v jednotlivých osách matice byl celý model natočen do správné polohy a jeho souřadnicový systém byl nyní v redukováných souřadnicích systému S-JTSK. Po provedení transformace bylo sejmutím souřadnic na několika identických bodech zkontrolováno, že byl proces proveden správně. Výsledky kontrolně určených souřadnic jsou závislé na správné identifikaci bodu a pečlivém odměření. Získané hodnoty jsou patrné z následující tabulky, jejíž hodnoty jsou uvedeny v metrech.

	změřeno PŘED transformací			kontrolně změřeno PO transformaci		
bod	X	Y	Z	X	Y	Z
2	-4.783	-7.886	4.69	-4.780	-7.856	4.69
6	-7.132	-4.042	7.54	-7.150	-4.060	7.50
8	-11.727	-4.799	7.41	-11.767	-4.794	7.45
13	-15.876	-4.643	4.87	-15.871	-4.636	4.90
20	-13.847	-5.508	4.13	-13.869	-5.511	4.17

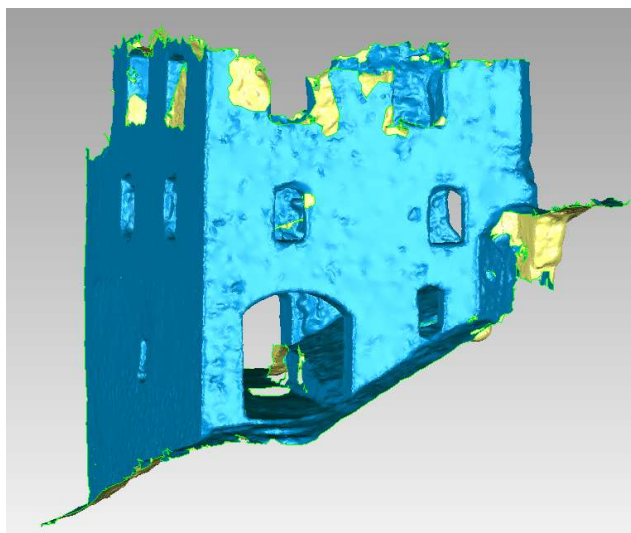
Tab. 3 Kontrolní měření vybraných identických bodů

4.2.2.7 Redukce dat

Spojením modelu do jediného celku došlo k překrytí několika skenů na jednom místě. Tím byla zajištěna velká podrobnost dat, ale také vysoký počet bodů. Podrobnost byla potřeba hlavně při hledání identických bodů v modelu. Práce s velkým počtem bodů byla nejen časově zdouhavá, ale také náročná pro počítač. V této fázi již nebyla potřeba mít model takto podrobný, proto mohla být data redukována. K tomu byla použita funkce *Jednotný (Uniform)*. Tato funkce snižuje počet bodů rovnoměrně na rovných plochách a na zakřivených plochách na stanovenou hustotu. Z důvodu kritérií přesnosti byla vzájemná vzdálenost bodů nastavena na 1 cm. Tímto se podařilo zredukovat model se 120 miliony body na model s necelými 10 miliony body.

4.2.2.8 Tvorba polygonové sítě

S redukováným modelem bylo mnohem snazší nadále pracovat. Byl vytvořen polygonový model (Obr. 12) pomocí funkce *Zabalit (Wrap)*. Tato funkce přemění bodový objekt mračna na polygonovou síť. Byla nastavena automatická redukce šumu, odstranění malých nerovností, maximální počet polygonů 2,5 milionu a nejvyšší kvalita. Dále byl model upravován pomocí funkce *Síťový doktor (Mesh Doctor)*. V této fázi byly z modelu odstraněny malé části, zaplněny malé otvory, odstraněna chybná křížení, vyhlazení hran a hrotů.



Obrázek 12: Ukázka polygonové sítě

Po provedení toho kroku byl model shledán za dostatečný pro následné zpracování a nebyl již dále upravován.

5. ZPRACOVÁNÍ 2D VÝSTUPŮ

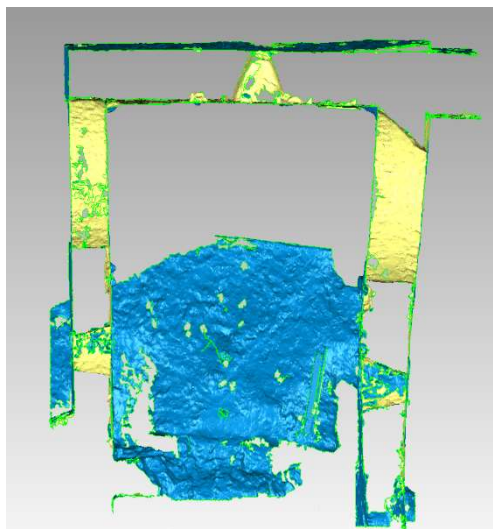
Tvorba stavebních výkresů byla provedena v programu *AutoCAD 2012* od nadnárodní softwarové firmy Autodesk založené v Kalifornii v roce 1982. Program pro 2D a 3D projektování a konstruování je využíván především v oblastech strojírenských konstrukcí, stavebních projekcí a architektury, mapování a terénních úprav, geodézie a GIS (Geografický Informační Systém). Aplikace obsahuje grafické, geometrické, matematické a inženýrské nástroje pro kreslení plošných výkresů, modelování objektů a dějů reálného světa. Je možné provádět výpočty, analýzy, řízení strojů (výroby, zařízení,...) a počítačové vizualizace. [17]

Tvorba hypsometrie byla provedena v programu *Surfer v15*. Společnost Golden Software byla založena v roce 1983 v Coloradu Danem Smithem a Patrikem Madisonem. V roce 1985 byl *Surfer* prvním programem společnosti, jenž využil technologického pokroku pro modelování terénu, batymetrické modelování, vizualizaci krajiny, povodí a 3D mapování povrchu, mřížky a analýzu výhledu. V následujících letech až doposud společnost vyvíjí další nástroje a software podporující vědce a výzkumníky v celé řadě oblastí a nastavení. Nyní je Golden Software předním poskytovatelem vědeckého grafického softwaru, specializujícím se na transformaci jednoduchých a složitých údajů na srozumitelné vizuální nástroje, jako jsou mapy, grafy a modely. Tyto softwary se používají ve stavebnictví, strojírenství, lékařství, aplikovaných vědách, univerzitních zařízeních i pro těžbu (zejména ropy a plynu). [18] Do podoby výkresů byly výstupy upraveny v programu *AutoCAD 2012*.

Ortogonální pohledy byly vyhotoveny v programu *Geomagic Studio*. Kolmý pohled na vybranou stěnu ve vhodném natočení modelu byl vyexportován v podobě barevného obrázku do formátu *.tiff. Převod barevného obrázku do stupňů šedi se provedl v externím programu. V případě této práce se jednalo o program *FastStone Image Viewer 6.0*. Program byl vyvinut firmou FastStone Soft, která se specializuje na výzkum grafiky a zpracování obrazu. *FastStone Image Viewer* je stabilní a uživatelsky přívětivý prohlížeč obrázků, konvertor a editor. Jednou z mnoha funkcí programu je bezztrátový přechod JPEG. Program podporuje více než 20 hlavních grafických formátů. [19] Následná úprava obrázku do podoby výkresu proběhla v programu *AutoCAD 2012*.

5.1. TVORBA PODKLADOVÝCH RASTRŮ

Nedílnou součástí 2D stavebních výkresů byly podkladové rastry získané ze 3D modelu. Základně upravený polygonový model se v programu *Geomagic Studio* nastavil dle potřebných požadavků. Pomocí funkce *Oříznout rovinou (Trim with Plane)*, která objektem proloží rovinu a odstraní všechny trojúhelníky na jedné straně této roviny, byla modelem vedena ořezová rovina o nadmořské výšce daného půdorysu a odstraněna část nad rovinou. Byl nastaven pohled shora a vypnuto zobrazení nadbytečných prvků. Zvolilo se vhodné osvětlení, aby vyniklo co nejvíce detailů. Následně se použila taková transparentnost, aby nedošlo ke ztrátě potřebných informací, ale zároveň aby výsledný rastr nepůsobil matoucím dojmem. Z takto upraveného rastru byl vyexportován snímek grafického pole (Obr. 15) ve formátu *.tiff, jenž není komprimovaný a nedochází tak ke ztrátě kvality dat.



Obr. 15 Ukázka rastrového podkladu

V případě rastrů pro mezipatra se postupovalo obdobně. Nejprve byla vedena ořezová rovina v nadmořské výšce vyššího patra a odstraněna část dat nad rovinou. Poté byla modelem proložena ořezová rovina o nadmořské výšce nižšího patra a odstraněna část pod rovinou. Zbývajících část zobrazovala zájmovou oblast mezipatra. Následné úpravy a export rastru proběhl stejně jako v případě pro půdorysy.

Při získávání rastru pro 2D výkres svislého řezu byl postup změněn ve dvou krocích. Ořezová rovina byla vedena shodně s rovinou řezu pro samotný půdorys. Následně nebyl zvolen pohled shora, jako v předchozích případech, ale pohled frontální (čelní).

5.2. TVORBA PŮDORYSŮ

Vstupní data pro tvorbu půdorysů byla získána z polygonového modelu vytvořeného v programu *Geomagic Studio*. Pomocí funkce *Oříznout rovinou* byly vytvořeny 1 cm široké pásy na každou stranu od roviny řezu. Jelikož byl model již transformován do polohového souřadnicového systému S-JTSK, který je vzhledem k výchozímu souřadnicovému systému programu stočen, bylo nutné rovinu manuálně natočit, a to o hodnotu získanou z matice rotace (viz kapitola 5.2.2.6.) vynásobenou -1. Takto vytvořený trojúhelníkový pás byl rozložen zpět na body funkcí *Vytvořit body (Convert to points)* a uložen do formátu *.dxf.

Získaná bodová vrstva byla načtena do programu *AutoCAD 2012*, kde byla následně zpracována. Vzhledem ke skutečnosti, že je celá bakalářská práce součástí projektu NPÚ, se kterým fakulta spolupracuje často, byly převzaty veškeré vrstvy pro tvorbu rysů od Bc. Zuzany Richterové [7], která vrstvy definovala na základě *Měřické dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči* [20].

Jelikož byl podkladem pro tvorbu rysů 3D model zachycující přesný průběh zdiva včetně nerovností, bylo nutné kreslit linie jako křivky na základě interpolace mezi jednotlivými body. V půdorysech jsou zakresleny i prvky pod rovinou a nad rovinou řezu. Pro potřeby NPÚ bylo nutné zachytit nestandardní prvky, kterými jsou v případě této práce a zejména vyhotovení půdorysů, průběžné spáry různého zdiva. Tyto anomálie se vyskytují na vnitřním a vnějším líci severní zdi a na vnitřním líci východní zdi. Průběh kleneb je vektorizován přímo z trojúhelníkového 3D modelu a následně sklopen do roviny řezu.

Po zakreslení všech náležitostí odvozených ze 3D modelu byl výkres okótován. Nejprve se umísťovaly rozměrové kóty, které udávají polohové rozměry jednotlivých úseků. Z důvodu přesnosti kresby linie a výslednému měřítku 1:50 je hodnota kót udávána v milimetrech, avšak zaokrouhlena na celé centimetry. Klenby jsou okótovány i výškově, ale jelikož nelze jednoznačně určit průběh podlahy, která by stanovovala nulovou hladinu, od které se odměřují výšky, byly kóty určeny v absolutní nadmořské výšce. Kóty zobrazují výškový rozdíl paty klenby a jejího vrcholu. Do výkresu byly zakresleny i nestandardní prvky, které bylo třeba okótovat, proto byly některé kóty umísťovány mimo zásady stavebních výkresů. Veškeré rozměrové kóty a výšky jsou odvozeny ze 3D modelu. Okótovaný výkres byl doplněn o síť křížků po 5 metrech, vyznačení vyhotovovaných řezů, poznámky, severku, grafické měřítko a popisovou tabulku.

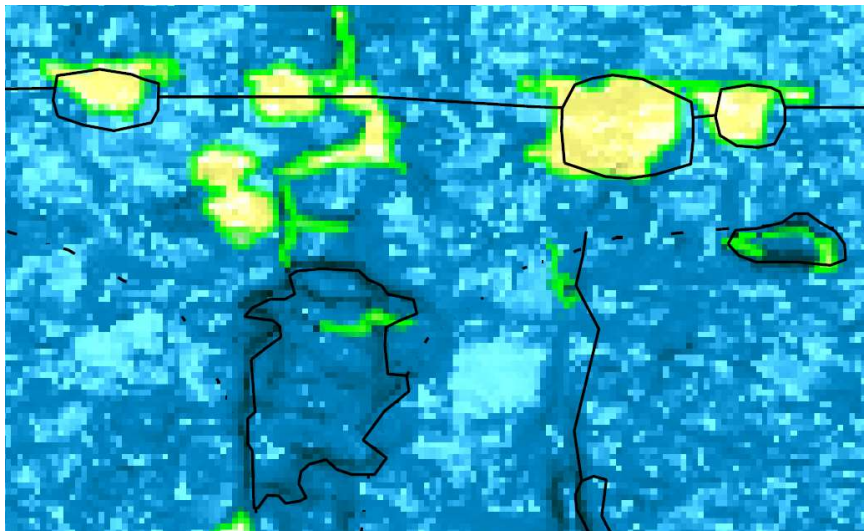
Do výkresů byly referenčně připojeny podkladové rastry. Na základě podobnostní transformace jsou tyto rastry umístěny pomocí posunu, pootočení a změny měřítko. Transformace proběhla na jasně viditelné vlíčovací body, které se vyskytují jak v rastrovém obrázku, tak v bodové vrstvě získané ze 3D modelu. Přesnost vložení rastru odpovídá rozlišovací schopnosti lidského oka a pečlivému umístění na vlíčovací body. Během vkládání nebylo možné přesnost ovlivnit. Vzhledem ke skutečnosti, že ve většině případů v této práci plní podkladový rastr pouze ilustrativní funkci, není primárním požadavkem dosáhnout maximální přesnosti. Vyjma výkresu P01 jsou připojeny dva rastry. První rastr zobrazuje pouze výřez mezi zobrazovaným a předchozím řezem. Druhý rastr zobrazuje veškerou plochu pod rovinou řezu. U výkresu P01 byl podle rastru doplněn průběh zdiva zabíhající do terénu, který nebylo možné zakreslit z dat získaných v rovině řezu. Této linii tedy nelze přikládat stoprocentní váhu z hlediska přesnosti.

Celkem bylo vyhotoveno 5 půdorysů dle zadání NPÚ. Tyto výkresy jsou uvedeny v příloze 3_1_púdorysy a jsou i součástí tištěné verze. Výkresy byly vytištěny do *.pdf, který umí pracovat s jednotlivými vrstvami, umí je zobrazovat nebo vypínat. Dále byla vytvořena superimpozice, jedno souhrnné *.pdf obsahující všechny půdorysy. Každá vrstva, která byla pro větší přehlednost barevně odlišena, obsahuje právě jedno patro. Seznam vrstev je uveden v příloze 7 tištěné verze. Linie kleneb, parapetů, průběžné spáry, byly sloučeny do jedné vrstvy, pojmenované *linie_Pxy_klenby*, kde *xy* značí číslo výkresu. Z tohoto výstupu lze usuzovat stavební návaznost objektu.

5.3. TVORBA ŘEZU

Pro tvorbu řezu byla ze 3D modelu vygenerována 2 cm široká bodová vrstva stejným postupem, jako v případě pro tvorbu půdorysů. Na svislý řez byl použit model s průběhem terénu v bezprostřední blízkosti Druhé brány hradu. Bodová vrstva byla v programu *AutoCAD 2012* vhodně interpolována. Avšak z těchto dat bylo možné získat jen přesný průběh roviny řezu, který je pro výsledek této práce bezpochyby důležitý, nicméně nedostatečný. Neméně důležitý je i průběh stavby za rovinou řezu. Proto byla polygonovým 3D modelem vedena ořezová rovina v rovině řezu a odstraněna část před rovinou řezu. Zbýlá část byla exportována do formátu *.dxf a načtena do programu *AutoCAD 2012*, kde byla vektorizována. Avšak ani tyto informace nebyly dostatečné. Byl připojen rastrový obrázek, který byl získán dle postupu popsaného v kapitole 5.1. *Tvorba rastrů* a připojen principem, jaký byl popsán v předchozí podkapitole, 5.2. *Tvorba půdorysů*. Z tohoto podkladu byl výkres doplněn o prvky, které nebyly z bodové, ani polygonové vrstvy znatelné. Jednalo se převážně o větší nerovnosti ve zdivu (Obr. 16), zaklenutí oken a náběhy kleneb v přízemí. Také byla z rastru na východní straně patrná prasklina od prostředního okna v přízemí. Tato prasklina představuje průběžnou spáru různého zdiva, jež je zásadní pro rozfázování stavebního vývoje Druhé brány.

Nestandardním prvkem, přidaným do výkresu řezu, bylo naznačení průběhu všech půdorysů vyhotovovaných v zájmové oblasti. Vyhotovený výkres byl doplněn o stejné prvky jako výkresy půdorysů, tedy o grafické měřítko, popisovou tabulku, severku a poznámky. Stejně jako v předchozím případě, i tento výkres byl vytištěn do formátu *.pdf, pracujícím s vrstvami. Výkres je uveden v příloze 3_2_svisly_rez a je součástí tištěné verze.



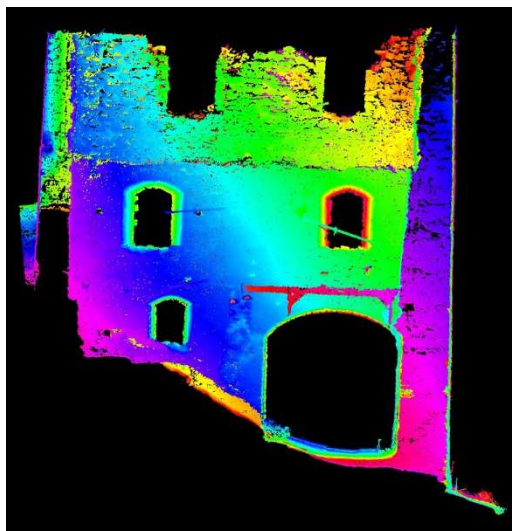
Obr. 16 Ukázka nerovností ve zdivu

5.4. TVORBA HYPSONETRIE

Tvorbou hypsonetrie, znázorňující výškové rozdíly metodou vyplnění barevných ploch, se v dostatečné míře nezabývala žádná z předchozích prací. Bylo tedy nutné vyzkoušet několik možností a zvolit k vypracování výstupů nejvhodnější z nich.

MicroStation

Prvním nápadem, jak vyhotovit hypsonetrii, bylo v programu Geomagic odstranit nepotřebné části objektu a ponechat pouze dotčenou stěnu. Tato stěna byla vyexportována v textovém formátu *.asc a jako bodový mrak byla načtena do programu MicroStation V8i. V tomto programu jsou práce s mráčky bodů omezeny. Lze vytvářet výřezy, otáčet s mráčkem, nastavovat nové souřadnicové systémy, renderovat. Jelikož nebyla zájmová stěna rovnoběžná s osou Z, zvolila se pomocná souřadnicová soustava, která tento nedostatek vyřešila. Provedlo se renderování pro osu Z, zvolila vhodná barevná škála a stupeň opakování barev. Bohužel bylo zjištěno, že pomocná souřadnicová soustava nemá vliv na celkové mráčko a tedy ani na procesy s ním související. Aby bylo mráčko vhodně hypsonetricky klasifikováno, musel být nastaven stupeň opakování 1,2 m. Další nevýhodou byl nejasný průběh hloubkového členění, jelikož barevná škála nabízí plynulý přechod barev, nikoliv ostrý přechod, který by byl pro tento případ přehlednější. Mráčko bodů bylo exportováno ze zředěného modelu. V tomto důsledku vznikla na hypsonetrickém plánu slepá místa, která nebyla barevně zaplněna a vznikl tak matoucí dojem. Naopak ve spodní části modelu, kde stavba zabíhá do terénu, vznikl úzký pás mnoha barev, který také působí matoucí dojmem. Získaný hypsonetrický plán je uveden na obrázku níže (Obr. 17). Pro výše zmíněné důvody nebyla tato metoda shledána za dostačující.



Obr. 17 Ukázka výstupu hypsometrie z programu MicroStation V8i

ArcGIS

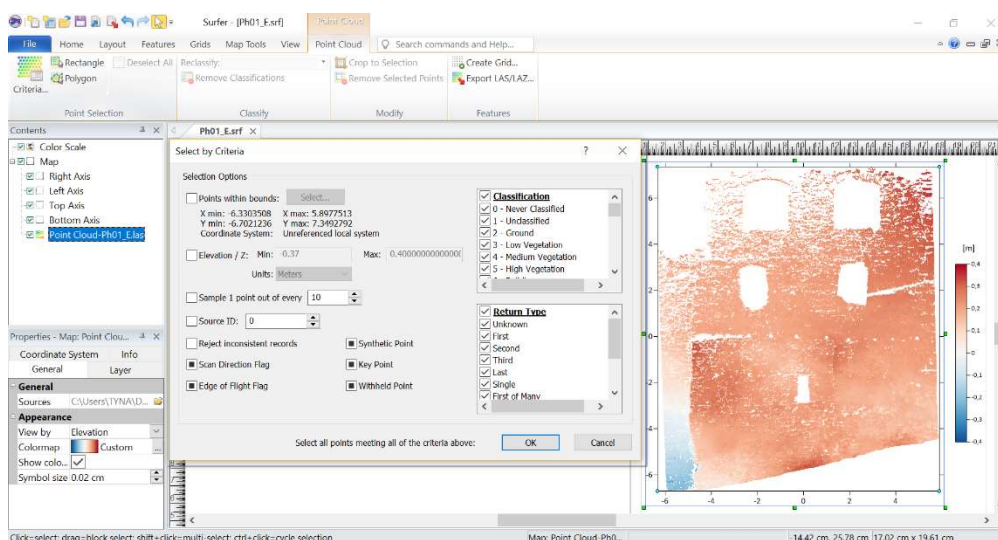
Druhým způsobem, jak zpracovat danou problematiku, bylo využít některý z programů *ArcGIS*. Opět byla z programu *Geomagic Studio* vyexportována pouze nejnutnější zájmová oblast, aby se co nejvíce snížil počet bodů. Vrstva se exportovala do textového formátu *.asc, který je podporován oběma programy, jak výstupním programem *Geomagic Studio*, tak vstupním programem *ArcMap*. V textovém souboru bylo nutné upravit hlavičku, aby se s ním dalo následně pracovat v programech GIS. První dva řádky byly odstraněny a nahrazeny pojmenováním sloupců, tedy názvy jednotlivých os. Pro výpočty byl zvolen program *ArcMap* 10.4.1. Pomocí funkce *Add XY data* se načetla bodová vrstva s nutností nastavení vstupních prvků. Vytvořená pracovní vrstva se uložila do nové vrstvy. Přestože se načetl soubor se 3 souřadnicemi, program se k vrstvě stále choval jako ke 2D. Proto se k vrstvě pomocí funkce *Add Z information* přidala informace o výšce. Byla vybrána modelová stěna, která obsahovala 1,5 milionu bodů. Na každém procesu bylo zřetelné, jak je pro program práce s takovým množstvím bodů náročná. Po načtení do programu *ArcScene*, který slouží především pro zobrazování 3D dat, program dokonce vypsal chybovou hlášku o nedostatku paměti. Po konzultaci s Doc. Ing. Jiřím Cajthamlem, Ph.D., bylo shledáno, že se vstupními daty, která jsou v tuto chvíli k dispozici, nepomůže k lepšímu výsledku ani výkonnější počítač. Tato metoda byla bez výsledku zamítnuta.

AutoCad Civil 3D

Třetím nápadem bylo použití programu *AutoCad Civil 3D*. Jak už název 3D napovídá, program je schopný pracovat s prostorovým modelem. Ve stavebnictví se program využívá především pro modelování budov a silničních sítí. Během analýzy povrchu lze provádět výpočet a vykreslení vrstevnic, směrů (vykreslí se směrová mapa), výšek (vykreslí se hypsometrie), sklonu (vykreslí se sklonová mapa), šipek sklonů (vykreslí se na povrchu šipky určující směr sklonu povrchu), uživatelem definovaných vrstevnic (vykreslí se pouze vrstevnice s požadovanou výškou) nebo povodí (vykreslí se celé povodí, odkud kam teče voda, hranice povodí,...). Dokonce lze provádět všechny analýzy, avšak musejí být provedeny jednotlivě. [21] Bohužel nebylo zjištěno, jak optimálně upravit a zobrazit data, aby se dosáhlo vyhovujícího výsledku.

Surfer

Čtvrtým nápadem bylo na doporučení Mgr. Filipa Prekopa použití programu *Surfer*. Během seznamování se s tímto programem, bylo zjištěno, že je potřeba zájmovou stěnu nejprve natočit. Natočení proběhlo v programu *Geomagic Studio*, pomocí funkce *Transformace*. Počátek souřadnicové soustavy stěny byl posunut do nulových hodnot. Otočení se provedlo ve všech osách. Cílem bylo získat ve frontálním pohledu stěnu v takové poloze, aby odpovídala našemu zájmu. Byla ponechána jen přední část stěny, aby její odvrácená strana nijak nerušila výsledný vjem. Přes izometrický pohled bylo zkontrolováno, zda se stěna opravdu nachází ve zvoleném pohledu. Takto upravená data se uložila ve formátu textového souboru, v tomto případě *.asc. V dalším kroku byl formát souboru změněn přepsáním přípony na *.xyz. Vyexportovaná data tomuto formátu odpovídala. Následně byla potřeba data dostat do takového formátu, aby je bylo možné nahrát do programu *Surfer*. Převodu se dosáhlo v programu *ArcMap 10.4.1*. Pomocí nadstavbového *Toolboxu* se python skriptem *txt2las* převedl textový soubor vstupních dat na soubor ve formátu *.las. Po zapnutí programu *ArcMap 10.4.1* stačilo spustit zmíněný skript, nalézt vstupní soubor, zvolit jeho formát a zvolit formát výstupního souboru. Po provedení operace se v cílové složce vytvořil soubor s názvem vstupního souboru a příponou *.las.



Obr. 18 Ukázka pracovního prostředí v programu Surfer 15

Do programu *Surfer* byl pomocí funkce *Point Cloud* nahrán zájmový vstupní soubor. Během nahrávání se zvolil souřadnicový systém (EPSG 5514; European Petroleum Survey Group, S-JTSK) a jednotky (metry). Dále se nic nenastavovalo. Automaticky se provedla hypsometrie a její zobrazení. Následně probíhaly jen úpravy zobrazení. Bylo možné zvolit velikost zobrazovaných bodů, která byla nastavena pro všechny výstupy na hodnotu 0,02 cm. Vstupní bodová data obsahovala přes jeden milion bodů. Tedy data byla podrobná a bylo možné zvolit menší velikost zobrazovaného bodu. Zvolily se minimální a maximální hodnoty, které byly odměřeny v ose Z v programu *Geomagic Studio* při pohledu shora. Barevná škála se zvolila taková, aby kladné hodnoty obsahovaly různé odstíny pouze jedné barvy a záporné hodnoty různé odstíny jiné barvy. Pro kladné hodnoty byly zvoleny odstíny červené barvy, nulovým hodnotám byla přiřazena bílá barva, záporným hodnotám pak odstíny modré barvy. Zobrazení stěny se už působilo tak, aby pokrývalo co největší plochu tisknutelného listu. Obrázek byl doplněn o barevnou stupnici s popisem. Výstupy se prováděly na formát papíru A3. Nejprve se během exportu do formátu *.dxf nastavily základní parametry a verze programu *AutoCAD*, do které se má soubor exportovat. V programu *AutoCAD* se připojila tato externí reference a zvolilo se

měřítko vykreslení. Avšak vygenerovaný obrázek se nacházel na černém pozadí, které pro tvorbu výkresů není vhodné. Nebylo zjištěno, jak barvu pozadí v programu *Surfer* změnit a proto se zvolil jiný postup, jak dosáhnout vhodných výsledků. Namísto exportu do vektorového formátu *.dxf se zvolil export do rastrového formátu *.tiff. Při provádění exportu se zkontrolovalo, aby neproběhla žádná komprese, což je pro zachování kvality obrázku důležité. Nastavila se nejvyšší bitová hloubka 8 bitů. Rozlišení rastrového obrázku bylo nejprve nastaveno na 1200 dpi, ale získaný výstup byl příliš velký (přes 150 MB). Navíc generování výstupu trvalo bezmála 5 minut. Bylo zjištěno, že nastavení nižší hodnoty rozlišení nemá zásadní vliv na změnu kvality výsledného obrázku. Bylo tedy nastaveno 600 dpi a obrázek vyexportován (velikost okolo 40 MB). Do programu *AutoCAD* byl referenčně připojen obrázek v měřítku 1:1 a následně upraven pro zvolené měřítko vykreslení. Úprava obrázku pro měřítko vykreslení proběhla pomocí transformace na základě referenční délky. Načtený obrázek bylo třeba umístit do výškového souřadnicového systému. Během tvorby výstupů z programu *Geomagic Studio* pro program *Surfer* byl model nastaven do takové polohy, že vznikla co nejstejněměrnější hloubková členitost pro kladné i záporné hodnoty. Při provádění tohoto kroku došlo k posunu počátku souřadnicového systému zobrazované stěny. Bylo tedy potřeba zjistit hodnotu posunu v ose Z, která se připočetla k hodnotě redukce nadmořské výšky modelu. Do této hodnoty byl posunut referenční obrázek, jehož vztažná hodnota byla v nulové hladině zobrazovaných dat. Posun do správné nadmořské výšky proběhl v programu *AutoCAD*. Rastr byl vhodně umístěn do plochy tisknutelného listu, doplněn o popisový rámeček, grafické měřítko a poznámky. Pro větší přehlednost byl doplněn výkres o situaci Druhé brány s vyznačením, kde se vyobrazovaná stěna nachází. V posledním kroku byl výkres vytištěn do *.pdf. Tyto výkresy jsou uloženy v příloze 3_3_hypsometrie a jsou i součástí tištěné verze.

Pro zhotovení všech hypsometrických plánů se postupovalo stejným způsobem.

5.5. TVORBA ORTOFOT

Ortofoto reálně a nezkresleně zobrazuje skutečný stav zájmového území. Umožňuje porovnání vektorových údajů se skutečností. Tvorba proběhla v programu *Geomagic Studio*. Z výsledného 3D polygonového modelu byla vybrána zájmová oblast pro výsledné monochromatické ortofoto. Veškeré nadbytečné prvky byly odstraněny. Jelikož se vyhotovovala ortofota pro stejné stěny, jako v případě hypsometrie, natočil se model do stejné polohy. Po zobrazení frontálního pohledu se provedl export grafické části programu do formátu *.tiff. Při volbě *Zachytit (Capture)* a následné volbě *Pokročilé (Advanced)* bylo možné uložit grafickou část do souboru určeného uživatelem a ovládat rozlišení i barvu pozadí. Byl zvolen čtvercový poměr stran s nejvyšším možným počtem pixelů, v tomto případě 4096 pixelů a bílé pozadí, čímž se dosáhne kompatibility pro použití s jinými aplikacemi nebo pro tisk.

Získaný obrázek se otevřel v programu *FastStone Image Viewer 6.0* a přes funkci *Barvy, Stupnice šedi* se provedl převod na monochromatický obrázek. Během ukládání se zkontrolovaly potřebné vlastnosti. Tedy uložení do formátu *.tiff, bitová hloubka byla v tomto případě nastavena na 24 bit (v případě jedné barevné škály můžeme volit 3x vyšší hodnoty, než u RGB), nebyla provedena žádná komprese a rozlišení výstupů bylo programem stanoveno na 300 dpi.

Takto upravený obrázek byl referenčně vložen do programu *AutoCAD*. Pomocí identické délky získané z výkresu pro hypsometrii byl rastrový obrázek transformován do vhodného měřítka pro vykreslení. Umístění rastru do výškového souřadnicového systému proběhlo na základě znalosti výšky identického bodu.

Rastrový obrázek byl vhodně umístěn do plochy tisknutelného listu, doplněn o popisový rámeček, grafické měřítko a poznámky. Pro větší přehlednost byl doplněn výkres o situaci Druhé brány s vyznačením, kde se vyobrazovaná stěna nachází. V posledním kroku byl výkres vytištěn do *.pdf. Pro všechny zadané výkresy monochromatických ortofot se postupovalo stejně. Tyto výkresy jsou uloženy v příloze 3_4_ortofota a jsou i součástí tištěné verze.

S ohledem na rozsah prací a časové možnosti, byl tento typ výstupů vytvořen pouze v ilustrativní podobě a bylo by vhodné ho ještě dopracovat. Zejména by bylo vhodné prozkoumat jiné možnosti získání dat, která by se následně dala publikovat s větší přesností a ve vyšší kvalitě.

6. ZHODNOCENÍ PŘESNOSTI

Při každé měřické metodě jsme schopni dosáhnout určité přesnosti měření. Avšak úprava takto naměřených dat, která je důležitá pro následné zpracování, má vliv na celkovou přesnost výsledků. Je zcela zřejmé, že jakýmkoliv zásahem lidského faktoru do měření se přesnost výsledku snižuje. Přesnost této bakalářské práce můžeme hodnotit z hlediska jednotlivých dílčích částí a apriorních přesností použitých měřických přístrojů.

6.1. LASEROVÉ SKENOVÁNÍ

Pro sběr dat byl použit skener *Surphaser 25SHX*, kde byla během měření nastavena hustota měřených bodů rozestupem 5 bodů na 1 cm na vzdálenost 10 m. Poloha těchto bodů byla přístrojem určena s přesností 0,5 mm na vzdálenost 5 m.

6.2. GEODETICKÉ MĚŘENÍ

Použitý GNSS přijímač *South S82T* má horizontální přesnost 10 mm + 1 ppm a vertikální přesnost 20 mm + 1 ppm. Metodou GNSS byly určeny 4 body měřické sítě s minimálním rozestupem měření 1 hodiny. Maximální rozdíl v 2x určených souřadnicích bodu byl 1 cm v poloze a 3 cm ve výšce. Protokol měření je uveden v příloze *1_1_1_mereni_GNSS*, protokol výpočtu měřených bodů včetně dosažené přesnosti je uveden v příloze *1_2_1_prumer_GNSS*. Rozdíly, uvedené v metrech, jsou patrné z následující tabulky.

číslo bodu	rozdíl Y	rozdíl X	rozdíl Z
4001	-0.001	0.013	0.010
4002	-0.007	-0.012	-0.015
4003	-0.011	0.000	-0.030
4005	0.001	0.003	0.015

Tab. 4 Rozdíl určení souřadnic z prvního a druhého měření

Totální stanice *Sokkia SET2030R3*, použitá pro měření identických bodů a zaměření vetknutého polygonového pořadu, má přesnost měření délek 3 mm + 2 ppm, přesnost měření úhlů je uvedena 0,6 mgon. Surové měření je uvedeno v příloze *1_1_2_mereni_TS*. Upravený měřický zápisník je uveden v příloze *1_2_4_zapisnik_TS*. Výpočet vetknutého polygonového pořadu je uveden v příloze *1_2_5_vypocet_polygonoveho_poradu*. Některé identické body byly zaměřeny z více stanovisek, aby bylo možné udělat kontrolu. Dosažené souřadnicové rozdíly 2x měřených identických bodů jsou uvedené v příloze *1_2_x_vypocet_zapisniku*. Tyto hodnoty nepřesáhly 5 cm. Měření totální stanicí bylo nejprve vypočteno v místní síti a v síti S-JTSK. Následně byly identické body pomocí bodů měřické sítě natransformovány shodnostní transformací do sítě S-JTSK a určen rozdíl souřadnic. Tyto rozdíly jsou vidět v následující tabulce. Rozdíly jsou uvedeny v metrech. Získané rozdíly mohou sloužit k porovnání vnitřní přesnosti (přesnost místního souřadnicového systému) s vnější přesností (přesnost systému S-JTSK). Též slouží ke kontrole správnosti měřených dat a provedených výpočtů.

číslo bodu	rozdíl Y	rozdíl X	číslo bodu	rozdíl Y	rozdíl X
4001	0.006	0.005			
4002	0.002	-0.001			
4003	0.007	-0.004			
4004	-0.002	0.001			
4005	-0.013	-0.001			
1	0.008	-0.002	10	0.002	-0.002
2	0.002	0.002	11	0.002	0.005
3	0.000	0.000	12	0.000	0.003
4	0.008	-0.001	13	-0.009	0.006
5	-0.013	-0.015	14	0.001	0.008
6	-0.005	0.006	15	0.000	-0.001
7	0.000	0.000	16	-0.001	0.001
8	0.005	-0.004	18	-0.005	0.006
9	0.000	-0.001	19	-0.014	0.004

Tab. 5 Rozdíl souřadnice bodů vypočtených z měření a určených transformací souřadnic

6.3. ZPRACOVÁNÍ MRAČNA BODŮ

Přesnost při manuální registraci je vyjádřena průměrnou vzdáleností bodů obou registrovaných mračen. Stejnou hodnotou je vyjádřena i přesnost globální registrace. Maximální vzdálenost bodů při manuální registraci byla 0,002 m, při globální registraci 0,005 m.

6.4. TRANSFORMACE MODELU

Spojený a základně upravený model byl z modelové souřadnicové soustavy programu transformován do redukovaného systému S-JTSK. Transformace byla provedena na základě identických bodů. Pro transformaci byl metodou nejmenších čtverců vypočten programem *XYZTrans* transformační klíč. Přesnost shodnostní transformace je vyjádřena střední chybou jednotkou, která dosáhla hodnoty 0,009 m. Počet a čísla použitých identických bodů jsou uvedeny v příloze *1_4_3_transformacni_klic*. Jejich jednotkové střední chyby, uvedené v metrech, jsou k náhledu v následující tabulce.

číslo bodu	střední chyba jednotková	číslo bodu	střední chyba jednotková
3	0.0066	10	0.0084
6	0.0093	11	0.0079
7	0.0097	20	0.0095
9	0.0095		

Tab. 6 Použité identické body a jejich střední chyby jednotkové

Model není opraven o redukci z nadmořské výšky ani ze zobrazení. Díky zvolené shodnostní transformaci si model ponechal skutečnou velikost a není nijak zkreslen. Míry odměřené přímo z modelu není třeba nikterak přepočítávat a jsou přímo ve skutečné velikosti.

6.5. TVORBA 2D VÝKRESŮ

Veškeré podklady pro tvorbu výkresů byly čerpány z 3D modelu. Pro tvorbu půdorysů byly z trojúhelníkového modelu exportovány pruhy široké 2 cm, které byly následně rozloženy zpět na body. Tato bodová vrstva byla vhodně interpolována, čímž vznikly linie výkresů. Z trojúhelníkového modelu byly vektorizovány průběhy kleneb a následně sklopeny do roviny půdorysu. Pro tvorbu linie svislého řezu se postupovalo stejně. Prvky za linií řezu byly vektorizovány přímo z 3D trojúhelníkového modelu. Výškové i rozměrové kóty ve stavebních výkresech jsou odvozeny ze 3D modelu a zaokrouhleny na centimetry. Přesnost stavebních výkresů není vzhledem k měřítku výkresu horší než 2,5 cm.

Podklady pro hypsometrické plány jsou získány také ze 3D modelu. Bylo provedeno natočení stěn pro vhodnou interpretaci. Jelikož byl hypsometrický plán vyhotoven z bodového modelu, bylo možné v malé míře ovlivnit přesnost vykreslení velikostí zobrazovaného bodu. Tato hodnota byla nastavena na 0,02 cm. Během připojení referenčního obrázku do programu *AutoCAD* bylo možné zvolit měřítko, které lze následně pomocí transformace upravit pro měřítko vykreslení. Bohužel v rastru nelze přesně oměřovat, jelikož je deaktivována funkce přichytávání na objekty. Je možné oměřovat pouze zadáním graficky umístěného bodu, který je závislý na rozlišovací schopnosti oka zhotovitele a pečlivosti sejmutí bodu. Proto ani transformace do měřítka není zcela přesná a je ovlivněna lidským faktorem. Přesto transformace proběhla co nejpečlivěji. Předpokládaná přesnost není nižší než 5 cm. Umístění rastru do výškového souřadnicového systému proběhlo s přesností na centimetry.

Stejně tak pro tvorbu ortofot je podkladová vrstva tvořena 3D modelem. Trojúhelníkový model byl natočen do stejné polohy jako v případě hypsometrických plánů. Provedl se export grafické části programu ve frontálním pohledu na model. Získaný obrázek v nejvyšší možné kvalitě a bezztrátovém formátu byl referenčně připojen do programu *AutoCAD*, kde byl upraven pomocí změny měřítka a zpracován do podoby výkresu. Měřítko při tvorbě výkresů bylo manuálně upraveno pomocí referenční vzdálenosti, sejmuté z rastrového obrázku pro hypsometrické plány. Odhadovaná polohová přesnost není nižší než 10 cm. Umístění rastru do výškového souřadnicového systému, s využitím posunu na známou výšku identického bodu, neproběhlo s přesností nižší, než 5 cm.

7. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce je vypracování měřické dokumentace historického objektu Druhé brány hradu Andělská Hora. V rámci tohoto textu je popsán kompletní proces tvorby dokumentace od rekognoskace terénu, přes sběr i zpracování naměřených dat a tvorbu 3D modelu, až po výstupy v podobě stavebních výkresů, hypsometrie a monochromatických ortofot. Ke sběru dat byla využita metoda laserového skenování, jejímiž výhodami je rychlý sběr dat a vysoká přesnost. Oproti tomu nevýhodou je časově náročné zpracování a velký objem získaných dat.

Data získaná laserovým skenováním byla zpracována a spojena do jediného celkového 3D modelu, který sloužil jako podklad pro další výstupy. V tomto případě pro tvorbu pěti půdorysů, jednoho svislého řezu, tří hypsometrických plánů a tří monochromatických ortofot. Celý model a z něho odvozené 2D výstupy jsou umístěny v polohovém souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv. Pro souřadnicové umístění byla využita vhodná transformace na základě identických bodů. Identické body byly v terénu zaměřeny geodeticky, z celkového 3D modelu byly odměřeny manuálně. Byla zvolena shodnostní transformace, která zachovává měřítko, což je pro práce tohoto typu důležité.

Půdorysy a řez jsou zpracovány v měřítku 1:50. Dohodnutá přesnost 0,5 mm ve výkresu odpovídá 2,5 cm ve skutečnosti. Tato přesnost byla během tvorby dodržena, viz kapitola 5. *Zpracování 2D výstupů*. Ve stavebních výkresech jsou na základě požadavku zadavatele, Mgr. Filipa Prekopa z NPÚ ú.o.p. v Lokti, vyznačeny některé nestandardní prvky. Stavební výkresy vzniklé v této práci budou využity pro vyhodnocení stavebně-historického průzkumu, pro zpřesnění stávajících měřických dokumentací a pro získání přesnější návaznosti stavebních prací. Neméně důležitou roli budou hrát výkresy jako návaznost na právě probíhající archeologický výzkum a obnovení zříceniny.

Hypsometrické plány získané z bodového 3D modelu jsou zpracovány do podoby vzhledově odpovídající stavebním výkresům. Vypracovány jsou ve stejném měřítku, tedy 1:50. Vzhledem k nemožnosti přesného odměření v rastrovém obrázku je přesnost výkresů odhadována na 5 cm. Výškové připojení rastrového obrázku do systému Bpv je provedeno s přesností na centimetry. Hypsometrické plány pro tři zadané stěny budou sloužit pracovníkům NPÚ pro získání přesnějšího obrazu o deformacích.

Z trojúhelníkového 3D modelu byly získány kolmé pohledy na zadané stěny, které byly externím programem upraveny na monochromatické snímky. Ortofota byla taktéž zpracována do podoby výkresů v měřítku 1:50. Tento výstup má z celého rozsahu této práce nejnižší prioritu a z hlediska časové náročnosti nebylo možné se zabývat nejvhodnější interpretací. Výstupy jsou zpracovány na úkor přesnosti, která nepřesahuje v poloze 10 cm. Umístění do výškového souřadnicového systému proběhlo s větší úspěšností, přesnost nepřesahuje 5 cm.

Dle zadání bakalářské práce, byla 2D měřická dokumentace vyhotovena v celém rozsahu. Zvolená metoda pro sběr dat pozemním laserovým skenováním byla vzhledem k zachycení potřebných dat nejlepší volbou. Velkou výhodou zvolené metody byla malá časová náročnost. Geodetické připojení do souřadnicových systémů bylo taktéž zvoleno vhodně a odpovídalo požadované přesnosti. Zpracování 3D modelu v programu *Geomagic Studio* bylo časově velmi náročné a zabralo většinu času vyhotovování této práce. Tedy čas ušetřený při sběru dat se znásobil při vyhodnocování dat v kanceláři. Doba strávená postprocessingem je způsobena také tím, že sběr dat probíhá poloautomatizovaně, kdežto vyhodnocení prostorového modelu

vyžaduje určité zkušenosti a porozumění problematice. Tvorba půdorysů a řezu nebyla s ohledem na znalost práce v programu *AutoCAD* složitá. Úskalí bylo ve zdrojových datech, která nebyla běžná, a výkresy neobsahovaly příliš přímých linií. Bylo třeba dodržovat míru generalizace, avšak neopomenout důležité a podstatné prvky. V některých případech nebylo řešení jednoznačné, avšak nejpodstatnější informace pro zadavatele poskytují otvory, proto se při vyhotovování těchto částí postupovalo svědomitě. Následné kótování stavebních výkresů nebylo také jednoznačné, ale po konzultaci se zadavatelem bylo vyhotoveno dle jeho potřeb. Po nalezení vhodného programu k zobrazení hypsometrie a umístění do správného měřítka nebylo náročné vyhotovit výsledné výkresy. Pro tvorbu ortofot by bylo vhodné nalézt jinou cestu. Zejména frontální pohled na zadanou oblast v programu *Geomagic Studio* nemá bez měřítka vypovídající hodnotu. Tvorba měřítka přes referenční vzdálenost snižuje přesnost výstupů, což není v případě podobných projektů vyhovující.

Díky projektu jsem získala nový pohled na využití metod v jiných oborech, o kterých jsem se domnívala, že spolu ne zcela souvisejí. Samotnou tvorbou měřické dokumentace jsem si uvědomila, že práce v programech, se kterými zpracovatel nedělá denně, není zpočátku jednoduchá a je třeba věnovat čas seznámení se s programem. Vypracováním celé práce jsem dospěla k mnoha novým poznatkům, jak o použitých metodách, tak o tvorbě a zpracování výstupů. Neméně důležitým přínosem byla pevná vůle a víra v sebe samu.

Ještě jednou bych zde chtěla poděkovat všem, kteří mě nejen během vypracování této práce, ale i celého studia, podporovali.

CITOVANÁ LITERATURA

1. **BĚLOHLÁVEK, Miloslav.** *Hrady, zámky a tvrze v Čechách, na Moravě a ve Slezsku.* Praha : Svoboda, 1985.
2. **HEBER, František Alexandr.** Hrady na dobových obrazech. [Online] [Citace: 10. 01 2018.] http://www.hrady-zrceniny.cz/img/stare5/FA_Heber_pudorysy/andelska-hora-pudorys-heber-litografie-1845.jpg.
3. **PAVELKA, Karel.** *Fotogrammetrie 1.* V Praze : České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04249-6.
4. **Mipatek.** [Online] Mipatek Ltd.Šti., 2015. [Citace: 10. 01 2018.] <http://www.mipatek.com/services/get/53#prettyPhoto/0/>.
5. **KAŠPAR, Milan.** *Laserové skenovací systémy ve stavebnictví.* Hradec Králové : Vega s.r.o., 2003. ISBN 80-900860-3-9.
6. **ČSN EN, 60825.** *Bezpečnost záření laserových zařízení, klasifikace zařízení, požadavky a návod k používání.* místo neznámé : Český normalizační institut, 1997.
7. **RICHTEROVÁ, Zuzana.** Horní tvrz Kestřany (Písek) – měřická dokumentace vybrané části. Praha : ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra geomatiky, 2016.
8. **CAD house.** [Online] [Citace: 13. 04 2017.] <https://content-promote.weebly.com/24856794/5048f20bf77a0fd80ad43f837eb98939/surphaser25hsxerxs.jpg>.
9. **Geoobchod, s.r.o. Geoobchod.** [Online] Geoobchod, 2012. [Citace: 23. 08 2017.] <http://geoobchod.cz/south-surveying-gnss-prijimac-south-s-82t-zaruka-36-mesicu-C-352-D-2027.html>.
10. **Direct survey store.** [Online] Direct Survey Store, Inc., 2018. [Citace: 13. 04 2017.] http://www.directsurveystore.com/product_images/i/036/1__80653_zoom.jpg.
11. **SOKKIA. SOKKIA.** [Online] [Citace: 08. 09 2017.] eu.sokkia.com/.
12. **SOKKIA CO., LTD.** [Online] 2003. [Citace: 09. 09 2017.] http://www.totalsurvey.com.au/catalogues/Series%20030R_E825.pdf.
13. **Progres CAD Engineering, s.r.o.** [Online] Progres CAD Engineering, s.r.o., 2018. [Citace: 20. 04 2017.] http://www.pce.sk/crawler/SOKKIA_SET2030R3.htm.
14. **SEHNAL, Jan. GROMA.** [Online] Geoline, spol. s r.o., 3. 4 2017. [Citace: 24. 6 2017.] groma.cz/cz/.
15. **Geomagic Studio 2013. Geomagic community.** [Online] Geomagic, 2016. [Citace: 12. 03 2017.] <http://www.geomagic.com/en/>.
16. **ŠTRONER, Martin. Projekt XYZTrans.** [Online] 11. 2 2015. [Citace: 23. 6 2017.] <http://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/XYZTrans/index.html>.
17. **CAD Studio.** [Online] CAD Studio a. s., 2017. [Citace: 25. 6 2017.] <http://www.cadstudio.cz/>.
18. **Golden Software.** [Online] Golden Software, LLC, 2017. [Citace: 03. 12 2017.] <http://www.goldensoftware.com>.

19. FastStone. [Online] FastStone Soft, 2017. [Citace: 31. 12 2017.] <http://www.faststone.org/index.htm>.

20. VESELÝ, Jan. *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči.* V Praze: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště středních Čech v Praze ve spolupráci s Národním památkovým ústavem, generálním ředitelstvím : Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav), 2014. ISBN 978-80-86516-79-0.

21. Autodesk club. [Online] 2017. [Citace: 8. 12 2017.] <http://autodeskclub.cz>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Plán hradu podle F. A. Hebera, zdroj [2]	11
Obr. 2 Snímek katastrální mapy s vyznačením zadané části objektu	12
Obr. 3 Fotografie zadané části objektu, autor Ing. J. Hodač, Ph.D.	12
Obr. 4 Ukázka dat laserového skenování (vlevo) ve srovnání se skutečným stavem (vpravo), čerpáno z [4]	14
Obr. 5: 3D skener Surphaser 25 HSX, zdroj [8]	16
Obr. 6: GNSS přijímač SOUTH S82T, zdroj [10]	17
Obr. 7 Sokkia SET2030R3, zdroj [13]	18
Obr. 8: Ukázka záložky Scan v programu Surph Express Standard	21
Obr. 9 Schéma úprav 3D modelu v programu Geomagic Studio, autor Ing. Jaroslav Šedina	25
Obr. 10: Surové (vlevo) a vystínované (vpravo) mračno v software Geomagic Studio	25
Obr. 11: Výběr pro odstranění přebytečných dat (červená část)	26
Obr. 12: Ukázka manuální registrace	27
Obr. 13 Ukázka filtrace dat (červeně označené body budou odstraněny)	28
Obr. 14 Ukázka vyhledání identických bodů	28
Obr. 15 Ukázka rastrového podkladu	32
Obr. 16 Ukázka nerovností ve zdivu	34
Obr. 17 Ukázka výstupu hypsometrie z programu MicroStation V8i	35
Obr. 18 Ukázka pracovního prostředí v programu Surfer 15	36

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Technické charakteristiky skenovacího systému Surphaser 25 HSX (čerpáno z [7])	16
Tab. 2 Některé technické charakteristiky GNSS přijímače SOUTH S82T	17
Tab. 3 Kontrolní měření vybraných identických bodů	30
Tab. 4 Rozdíl určení souřadnic z prvního a druhého měření	39
Tab. 5 Rozdíl souřadnice bodů vypočtených z měření a určených transformací souřadnic	40
Tab. 6 Použité identické body a jejich střední chyby jednotkové	40

SEZNAM PŘÍLOH

TIŠTĚNÉ PŘÍLOHY

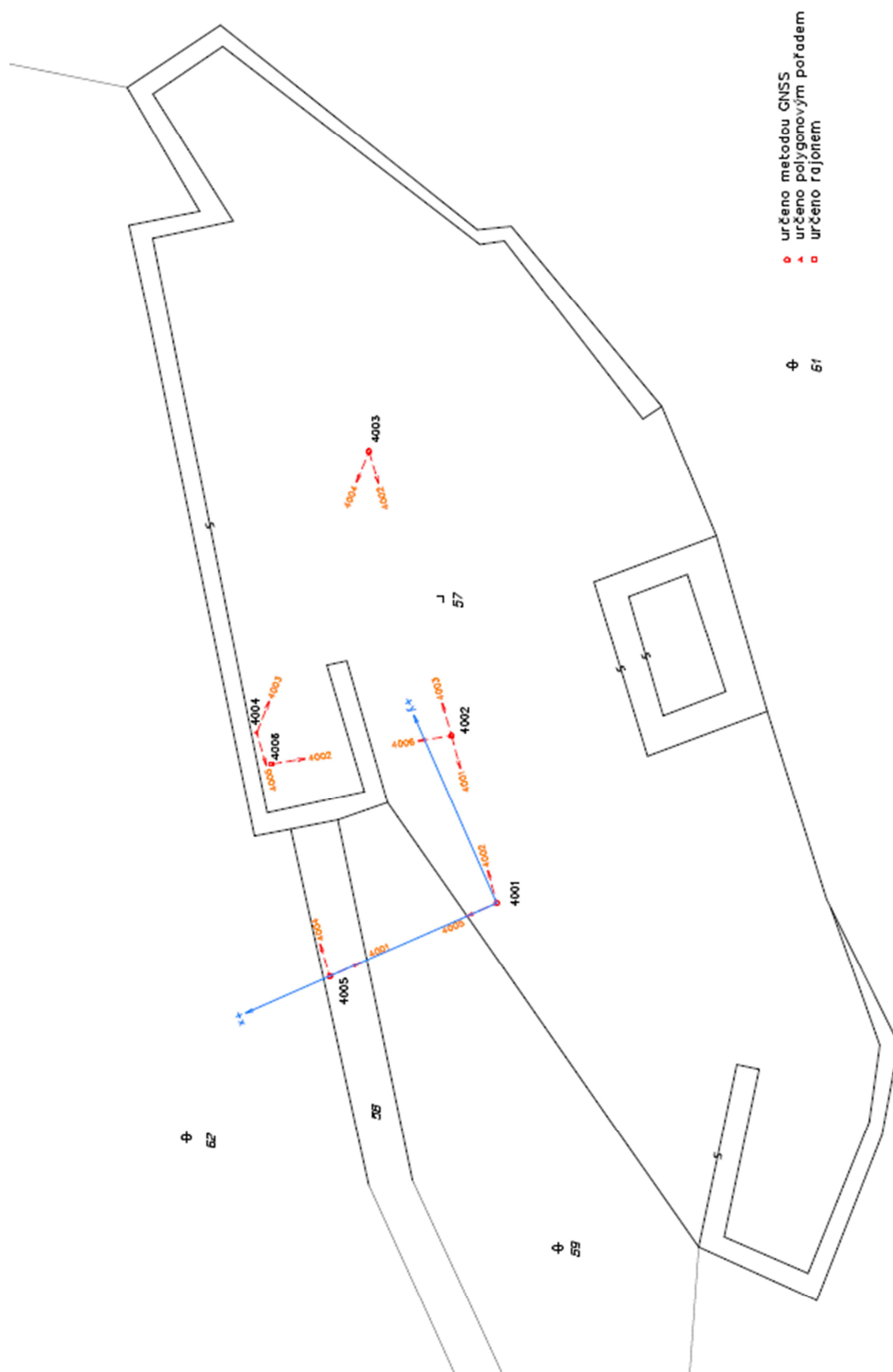
1. Schéma stanovisek pro pozemní laserové skenování
2. Schéma měřické sítě
3. Seznam souřadnic bodů měřické sítě
4. Seznam měření totální stanicí
5. Seznam souřadnic identických bodů
6. Protokol o výpočtu transformačního klíče
7. Seznam vrstev
8. Seznam vyhotovené dokumentace

ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY

- 1. Pracovní data**
 - 1.1. Měřená data
 - 1.1.1. Měření GNSS (formát *.txt)
 - 1.1.2. Měření totální stanicí (formát *.sdr, *.txt)
 - 1.2. Zpracování měření
 - 1.2.1. Průměrování měření GNSS (formát *.txt)
 - 1.2.2. Import měření totální stanicí (formát *.txt)
 - 1.2.3. Redukce délek (formát *.txt)
 - 1.2.4. Zápisník měření totální stanicí (formát *.txt)
 - 1.2.5. Výpočet polygonového pořadu (formát *.txt)
 - 1.2.6. Výpočet měření totální stanicí v místní síti (formát *.txt)
 - 1.2.7. Výpočet měření totální stanicí v síti JTSK (formát *.txt)
 - 1.2.8. Transformace měření z místní sítě do JTSK (formát *.txt)
 - 1.2.9. Transformační klíč (formát *.txt)
 - 1.3. Výpočet souřadnic
 - 1.3.1. Souřadnice v místní síti (formát *.txt)
 - 1.3.2. Souřadnice v JTSK (formát *.txt)
 - 1.4. Identické body
 - 1.4.1. Identické body v JTSK (formát *.txt)
 - 1.4.2. Identické body v místní síti programu Geomagic (formát *.txt)
 - 1.4.3. Transformační klíč identických bodů (formát *.txt)
 - 1.4.4. Fotodokumentace identických bodů (formát *.jpg)
- 2. 3D model**
 - 2.1. 3D model bodový (formát *.wrp, *.obj, *.pdf)
 - 2.2. 3D model plošný (formát *.wrp, *.obj, *.pdf)
- 3. 2D dokumentace**
 - 3.1. Půdorysy
 - Podkladové rastry (formát *.tiff)
 - 3.1.1. Půdorys P01 (formát *.dwg, *.pdf)
 - 3.1.2. Půdorys P02 (formát *.dwg, *.pdf)
 - 3.1.3. Půdorys P11 (formát *.dwg, *.pdf)
 - 3.1.4. Půdorys P12 (formát *.dwg, *.pdf)
 - 3.1.5. Půdorys P21 (formát *.dwg, *.pdf)
 - 3.1.6. Superimpozice P30 (formát *.dwg, *.pdf)
 - 3.2. Svislý řez
 - Podkladový rastr (formát *.tiff)
 - 3.2.1. Svislý řez S01 (formát *.dwg, *.pdf)
 - 3.3. Hypsometrie
 - 3.3.1. Pohled Ph01 (formát *.tiff, *.srf, *.dwg, *.pdf)
 - 3.3.2. Pohled Ph02 (formát *.tiff, *.srf, *.dwg, *.pdf)
 - 3.3.3. Pohled Ph03 (formát *.tiff, *.srf, *.dwg, *.pdf)
 - 3.4. Ortofota
 - 3.4.1. Pohled Po01 (formát *.tiff, *.dwg, *.pdf)
 - 3.4.2. Pohled Po02 (formát *.tiff, *.dwg, *.pdf)
 - 3.4.3. Pohled Po03 (formát *.tiff, *.dwg, *.pdf)

SCHÉMA STANOVISEK PRO POZEMNÍ LASEROVÉ SKENOVÁNÍ

SCHÉMA MĚŘICKÉ SÍTĚ



SEZNAM SOUŘADNIC BODŮ MĚŘICKÉ SÍTĚ

Bod	Y [m]	X [m]	Z [m]
4001	843950.542	1014802.786	709.68
4002	843938.271	1014799.480	710.30
4003	843917.494	1014793.453	706.29
4005	843955.895	1014790.591	699.74

SEZNAM MĚŘENÍ TOTÁLNÍ STANICÍ

1 4001	1.42					18	0	20.039	0.00	47.0523	111.9196
4002	0	12.721	1.68	0.0000	95.7109	21	0	21.948	0.00	45.8873	109.0336
4005	0	17.497	0.05	290.2005	144.9028	10	0	24.298	0.00	17.9931	87.9796
-1						11	0	26.079	0.00	14.7983	95.7078
11	0	10.863	0.00	362.4528	110.3572	/					
14	0	12.186	0.00	353.5430	102.4602	1 4004		1.38			
12	0	17.440	0.00	338.9094	93.7940	4003	0	22.193	0.05	0.0000	96.3279
13	0	19.716	0.00	332.6614	120.5262	4005	0	18.982	1.68	157.2741	112.3674
20	0	19.789	0.00	340.1858	122.9804	4002	0	15.177	0.05	76.7634	77.3580
/						-1					
1 4002		1.47				21	0	1.531	0.00	322.4337	124.9456
4001	0	12.851	0.05	0.0000	110.0831	18	0	3.075	0.00	365.9563	119.2242
4003	0	22.310	0.05	198.7236	115.6400	2	0	4.238	0.00	18.9697	105.4788
4004	0	16.348	0.05	117.5969	132.7160	16	0	9.403	0.00	99.7563	86.9992
4006	0	14.174	0.05	106.7360	122.6559	/					
-1						1 4005		1.35			
11	0	7.428	0.00	63.6967	120.9624	4004	0	18.808	0.05	0.0000	90.9655
12	0	14.564	0.00	88.0895	95.4032	4001	0	16.820	1.68	92.0504	58.0992
20	0	16.871	0.00	92.4639	129.9098	-1					
9	0	15.469	0.00	98.3407	95.0852	13	0	12.262	0.00	384.3204	80.0600
21	0	16.951	0.00	121.3493	128.2424	20	0	13.434	0.00	393.1428	85.3996
3	0	8.646	0.00	152.5171	127.2766	19	0	13.221	0.00	1.4638	64.8342
6	0	16.051	0.00	121.3585	116.9732	18	0	21.798	0.00	1.1962	91.0270
7	0	15.337	0.00	112.4603	95.9412	/					
5	0	7.228	0.00	139.7843	114.5700	1 4006		1.58			
8	0	15.698	0.00	101.9831	117.9266	4002	0	13.434	0.05	0.0000	90.5391
10	0	6.778	0.00	86.6301	96.1822	-1					
/						6	0	4.038	0.00	270.2768	113.0416
1 4003		1.31				8	0	2.298	0.00	163.5278	127.1648
4002	0	21.813	0.05	0.0000	91.9689	10	0	8.118	0.00	18.9152	68.8882
4004	0	22.493	0.05	42.1321	111.0115	16	0	7.665	0.00	19.2942	111.6096
-1						5	0	8.166	0.00	370.8140	86.0722
1	0	19.623	0.00	40.9913	85.1014	15	0	4.617	0.00	340.1084	104.8520
2	0	18.401	0.00	37.7757	110.1082	/					
3	0	16.628	0.00	20.3025	97.7860	-2					
4	0	18.542	0.00	33.3657	83.9432						

SEZNAM SOUŘADNIC IDENTICKÝCH BODŮ

Bod	Y [m]	X [m]	Z [m]
1	843935.345	1014786.693	712.15
2	843934.783	1014787.888	704.69
3	843934.074	1014792.829	708.18
4	843934.925	1014789.146	712.23
5	843935.758	1014792.885	710.13
6	843937.130	1014784.044	707.54
7	843939.285	1014784.208	712.75
8	843941.727	1014784.798	707.41
9	843942.653	1014784.693	712.96
10	843941.348	1014793.454	712.18
11	843943.469	1014794.730	709.34
12	843944.583	1014786.431	712.80
13	843945.876	1014784.643	704.86
14	843943.864	1014792.585	710.63
15	843936.242	1014788.458	708.00
16	843941.445	1014793.809	706.96
18	843935.135	1014784.784	703.87
19	843945.042	1014787.613	708.02
20	843943.844	1014785.511	704.11
21	843937.135	1014784.201	704.49

PROTOKOL O VÝPOČTU TRANSFORMAČNÍHO KLÍČE

ProgramXYZTrans v2.1.1 , Protokol o výpočtu.
Shodnostní Podobnostní transformace

Použité identické body :
3,6,7,9,10,11,20

Transformační klíč :

Matice Rotace :
0,976594972000464 -0,207612405282047 -0,0562080940471742
0,210120332652 0,976725381582216 0,043092630222241
0,045953307496 -0,0538945094242184 0,997488684338882

Vektor Translace :
-9,630133022269
-6,184781161105
4,815672918593

Měřítko v jednotlivých osách (x,y,z):
1,000000000000
1,000000000000
1,000000000000

Střední chyba jednotková: 0,00874406

SEZNAM VRSTEV PŮDORYSŮ A SVISLÉHO ŘEZU

koty-rozmerove	ost-poznamky
koty-vyskove	ost-ram_vykres
linie_pomocne	ost-rez_vyznaceni
linie_klenby (pouze půdorys)	ost-sit_krizku (pouze půdorys)
linie-pred_rovinou_rezu (pouze půdorys)	pod_rovinou_rezu (pouze svislý řez)
linie-rovina_rezu	prac-body_rez
linie-za_rovinou_rezu	prac-rastr_rez_model
ost-meritko_graficke	prac-rastr_rez_model1 (pouze půdorys)
ost-popiska	

SEZNAM VRSTEV VÝKRESU P30

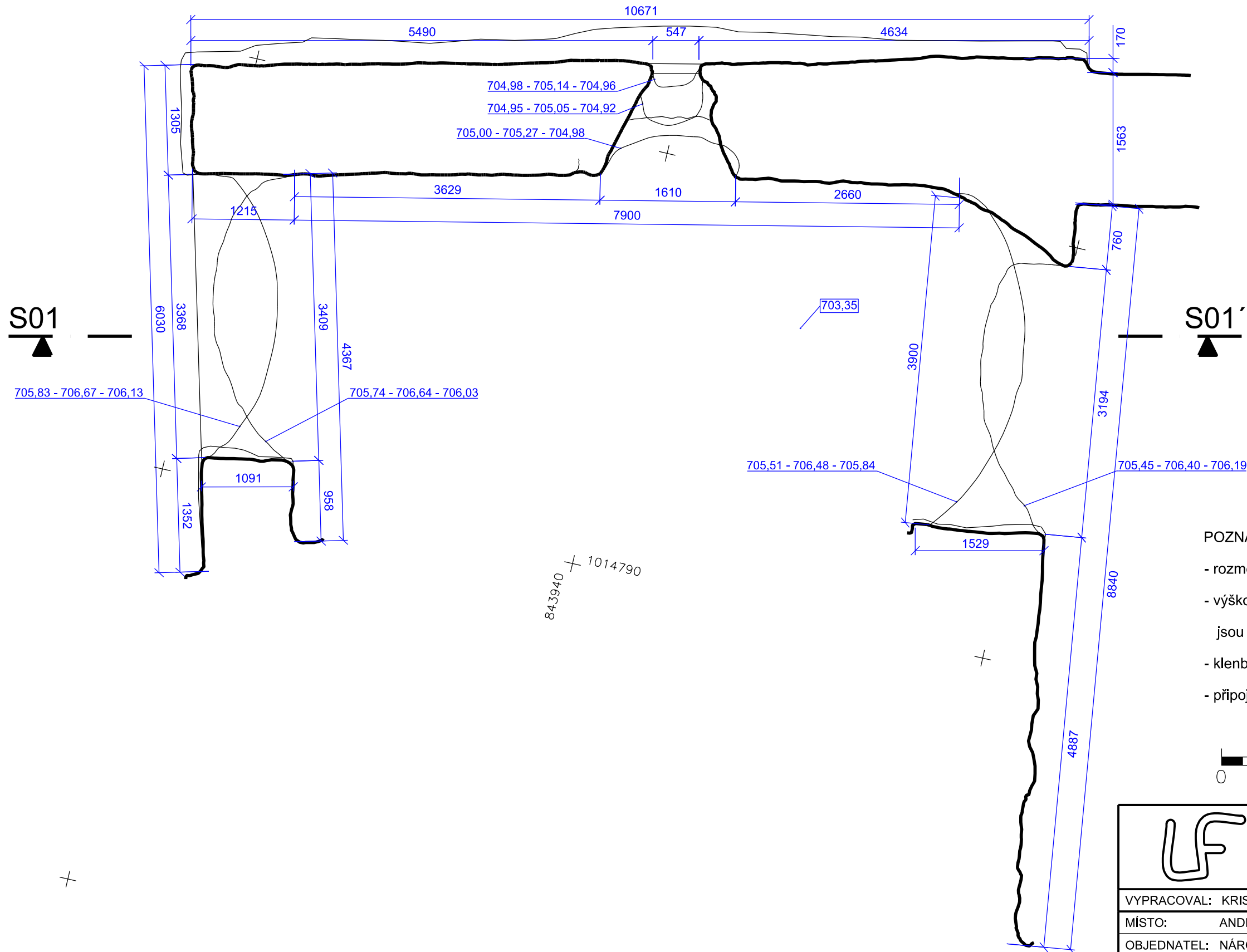
linie_P01_klenby	linie-P21_rovina_rezu
linie_P11_klenby	ost-meritko_graficke
linie_P21_klenby	ost-popiska
linie-P01_rovina_rezu	ost-poznamky
linie-P02_rovina_rezu	ost-ram_vykres
linie-P11_rovina_rezu	ost-sit_krizku
linie-P12_rovina_rezu	

SEZNAM VRSTEV HYPSONOMETRIE A ORTOFOT

koty-vyskove
ost-meritko_graficke
ost-popiska
ost-poznamky
ost-ram_vykres
ost-rez_vyznaceni
prac_rastr

SEZNAM VYHOTOVENÉ DOKUMENTACE

1. Půdorysy
 - 1.1. Půdorys P01
 - 1.2. Půdorys P02
 - 1.3. Půdorys P11
 - 1.4. Půdorys P12
 - 1.5. Půdorys P21
 - 1.6. Superimpozice P30
2. Svislý řez
 - 2.1. Svislý řez S01
3. Hypsometrie
 - 3.1. Hypsometrie Ph01
 - 3.2. Hypsometrie Ph02
 - 3.3. Hypsometrie Ph03
4. Ortofota
 - 4.1. Ortofoto Po01
 - 4.2. Ortofoto Po02
 - 4.3. Ortofoto Po03



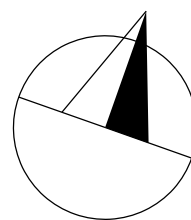
- POZNÁMKY:
- rozměrové kóty jsou odvozeny z 3D modelu a jsou zaokrouhleny na cm
 - výškové kóty jsou odvozeny z 3D modelu v Bpv, vybrané identické body jsou zaměřeny trigonometricky
 - klenby jsou vektorizovány z 3D modelu a vhodně generalizovány
 - připojený rastr plní ilustrační funkci



		LABORATOŘ FOTOGRAMMETRIE FAKULTA STAVEBNÍ, ČVUT V PRAZE THÁKUROVA 7, DEJVICE, PRAHA 6, 166 29 TEL: 224 354 650; EMAIL: HODAC@FSV.CVUT.CZ	
VYPRACOVAL: KRISTÝNA LEDECKÁ		KONTROLOVAL: ING. JINDŘICH HODAČ, PH.D.	
MÍSTO:	ANDĚLSKÁ HORA (OKR. KARLOVY VARY)	SOUŘ. SYSTÉM:	S-JTSK
OBJEDNATEL:	NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV, ÚOP V LOKTI	VÝŠK. SYSTÉM:	Bpv.
AKCE:	ANDĚLSKÁ HORA - HRAD DOKUMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ OBJEKTU	FORMÁT:	A3
		DATUM:	10. 1. 2018
		ČÍSLO ZAK.:	1
VÝKRES:	DRUHÁ BRÁNA - PŮDORYS V KÓTĚ 704,20 m.n.m.	MĚŘÍTKO:	ČÍSLO:
		1:50	P01

S01

S01'

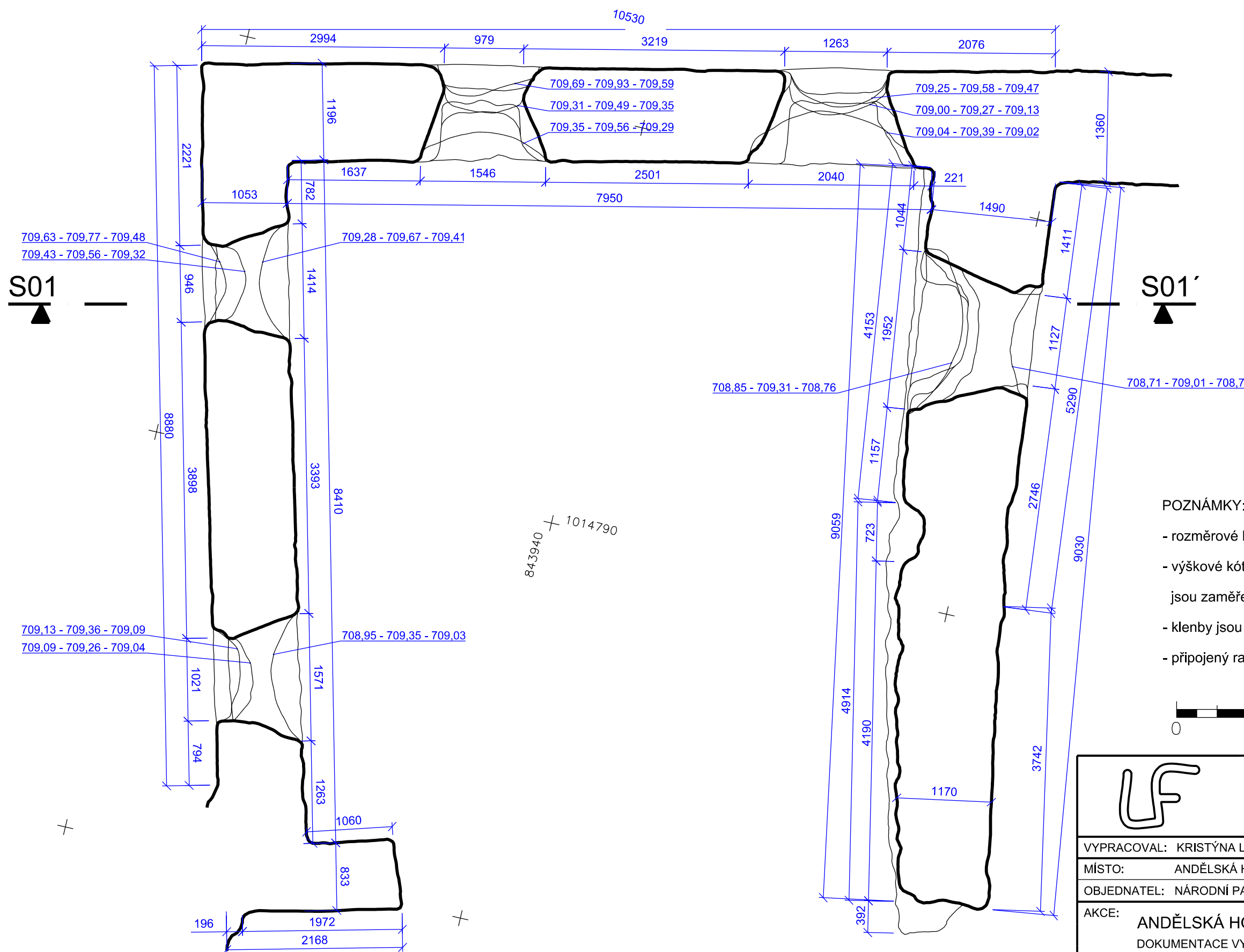


POZNÁMKY:

- rozměrové kóty jsou odvozeny z 3D modelu a jsou zaokrouhleny na cm
- výškové kóty jsou odvozeny z 3D modelu v Bpv, vybrané identické body jsou zaměřeny trigonometricky
- klenby jsou vektorizovány z 3D modelu a vhodně generalizovány
- připojený rastr plní ilustrační funkci



		LABORATOŘ FOTOGRAMMETRIE FAKULTA STAVEBNÍ, ČVUT V PRAZE THÁKUROVA 7, DEJVICE, PRAHA 6, 166 29 TEL: 224 354 650; EMAIL: HODAC@FSV.CVUT.CZ	
VYPRACOVAL: KRISTÝNA LEDECKÁ		KONTROLOVAL: ING. JINDŘICH HODAČ, PH.D.	
MÍSTO:	ANDĚLSKÁ HORA (OKR. KARLOVY VARY)	SOUŘ. SYSTÉM:	S-JTSK
OBJEDNATEL:	NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV, ÚOP V LOKTI	VÝŠK. SYSTÉM:	Bpv.
AKCE:	ANDĚLSKÁ HORA - HRAD DOKUMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ OBJEKTU	FORMÁT:	A3
		DATUM:	10. 1. 2018
		ČÍSLO ZAK.:	1
VÝKRES:	DRUHÁ BRÁNA - PŮDORYS V KÓTĚ 706,70 m.n.m.	MĚŘÍTKO:	ČÍSLO:
		1:50	P02

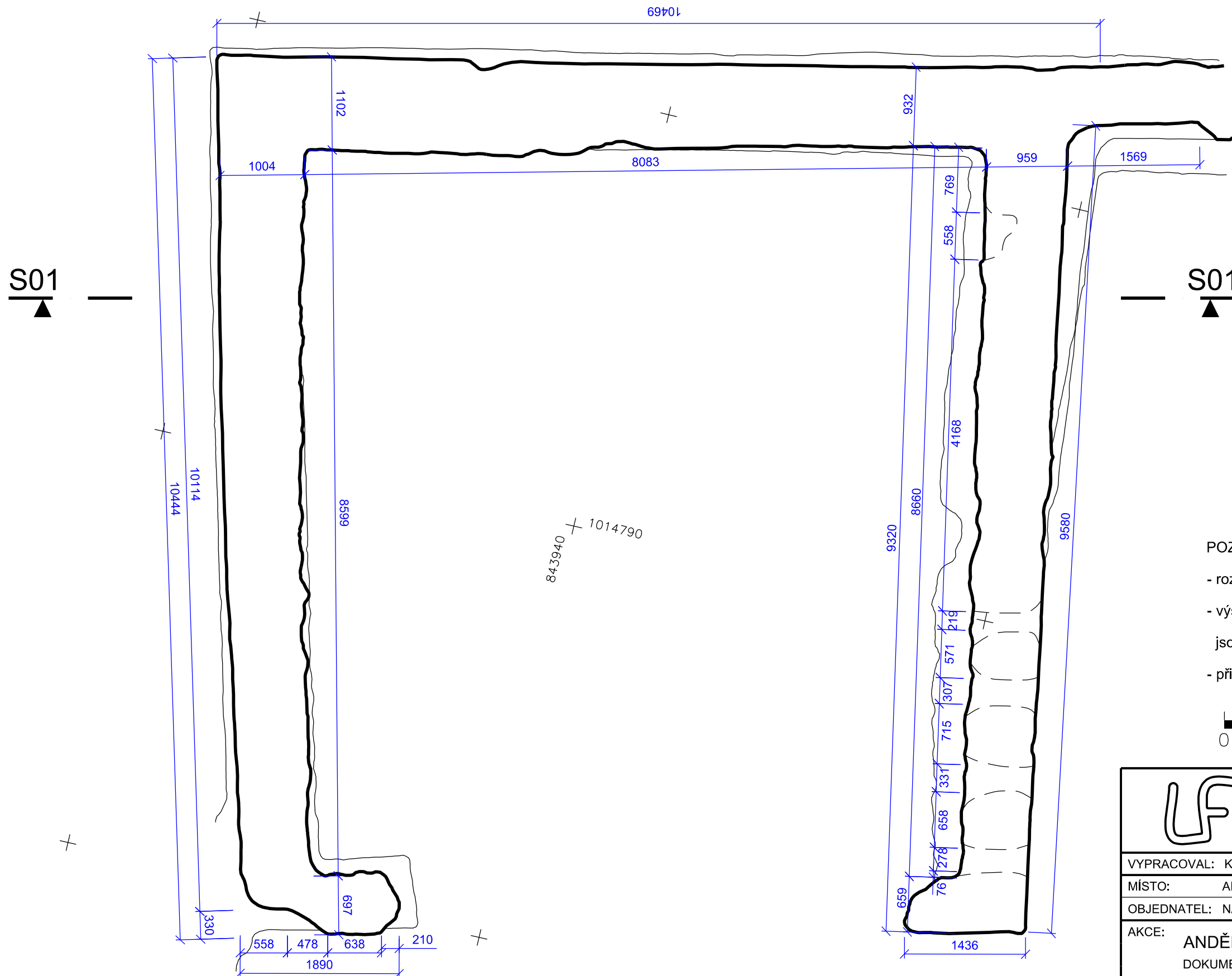


POZNÁMKY:

- rozměrové kóty jsou odvozeny z 3D modelu a jsou zaokrouhleny na cm
- výškové kóty jsou odvozeny z 3D modelu v Bpv, vybrané identické body jsou zaměřeny trigonometricky
- klenby jsou vektorizovány z 3D modelu a vhodně generalizovány
- připojený rastr plní ilustrační funkci



		LABORATOŘ FOTOGRAMMETRIE FAKULTA STAVEBNÍ, ČVUT V PRAZE THÁKUROVA 7, DEJVICE, PRAHA 6, 166 29 TEL: 224 354 650; EMAIL: HODAC@FSV.CVUT.CZ	
VYPRACOVAL: KRISTÝNA LEDECKÁ		KONTRLOVAL: ING. JINDŘICH HODAČ, PH.D.	
MÍSTO: ANDĚLSKÁ HORA (OKR. KARLOVY VARY)		SOUŘ. SYSTÉM:	S-JTSK
OBJEDNATEL: NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV, ÚOP V LOKTI		VÝŠK. SYSTÉM:	Bpv.
AKCE: ANDĚLSKÁ HORA - HRAD DOKUMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ OBJEKTU		FORMÁT:	A3
		DATUM:	10. 1. 2018
		ČÍSLO ZAK.:	1
VÝKRES: DRUHÁ BRÁNA - PŮDORYS V KÓTĚ 708,40 m.n.m.		MĚŘÍTKO:	ČÍSLO:
		1:50	P11



POZNÁMKY:

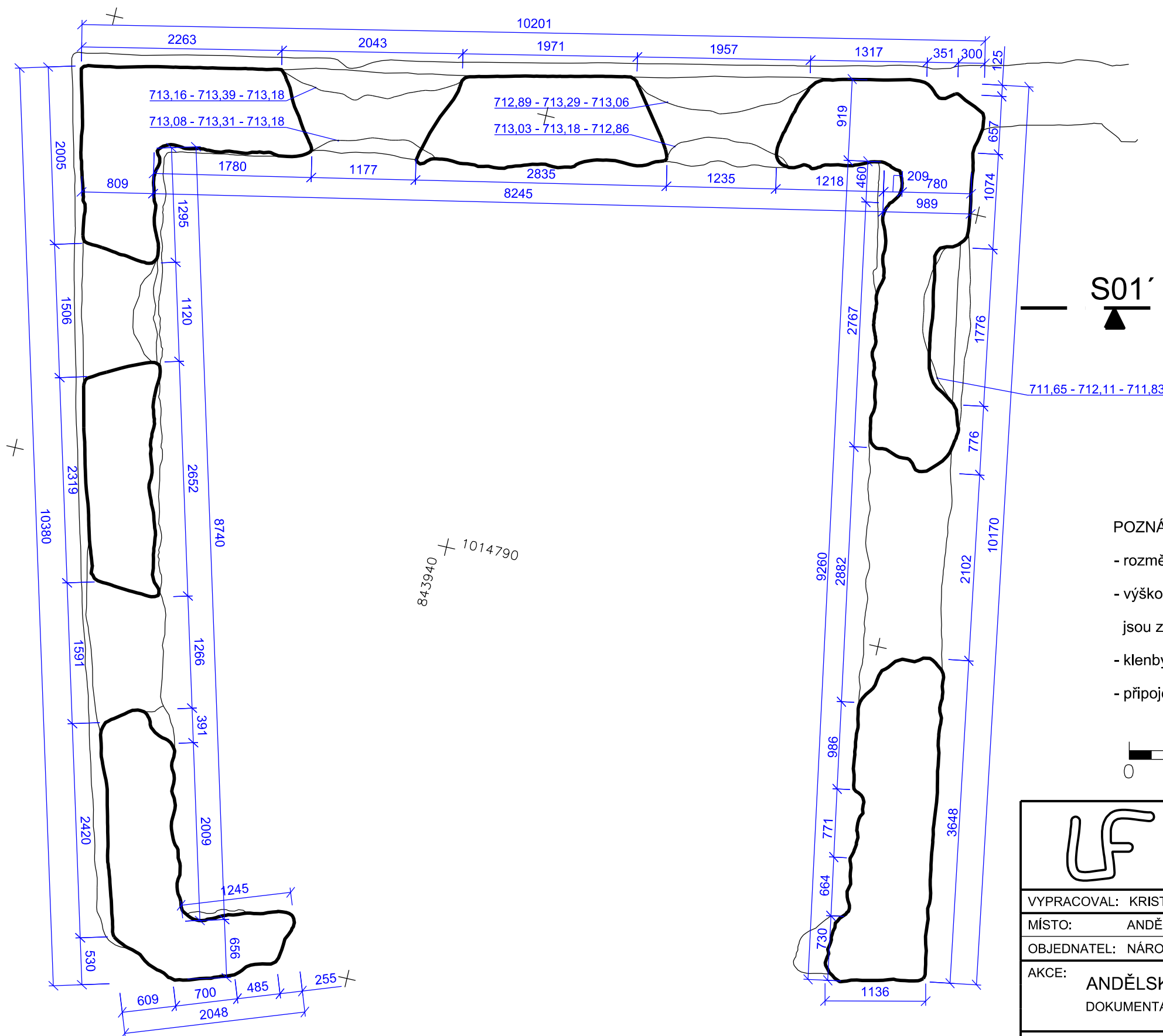
- rozměrové kóty jsou odvozeny z 3D modelu a jsou zaokrouhleny na cm
- výškové kóty jsou odvozeny z 3D modelu v Bpv, vybrané identické body jsou zaměřeny trigonometricky
- připojený rastr plní ilustrační funkci



		LABORATOŘ FOTOGRAMMETRIE FAKULTA STAVEBNÍ, ČVUT V PRAZE THÁKUROVA 7, DEJVICE, PRAHA 6, 166 29 TEL: 224 354 650; EMAIL: HODAC@FSV.CVUT.CZ	
VYPRACOVAL: KRISTÝNA LEDECKÁ		KONTROLOVAL: ING. JINDŘICH HODAČ, PH.D.	
MÍSTO: ANDĚLSKÁ HORA (OKR. KARLOVY VARY)		SOUŘ. SYSTÉM:	S-JTSK
OBJEDNATEL: NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV, ÚOP V LOKTI		VÝŠK. SYSTÉM:	Bpv.
AKCE: ANDĚLSKÁ HORA - HRAD DOKUMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ OBJEKTU		FORMÁT:	A3
		DATUM:	10. 1. 2018
		ČÍSLO ZAK.:	1
VÝKRES: DRUHÁ BRÁNA - PŮDORYS V KÓTĚ 709,90 m.n.m.		MĚŘÍTKO:	ČÍSLO:
		1:50	P12

S01

S01'



POZNÁMKY:

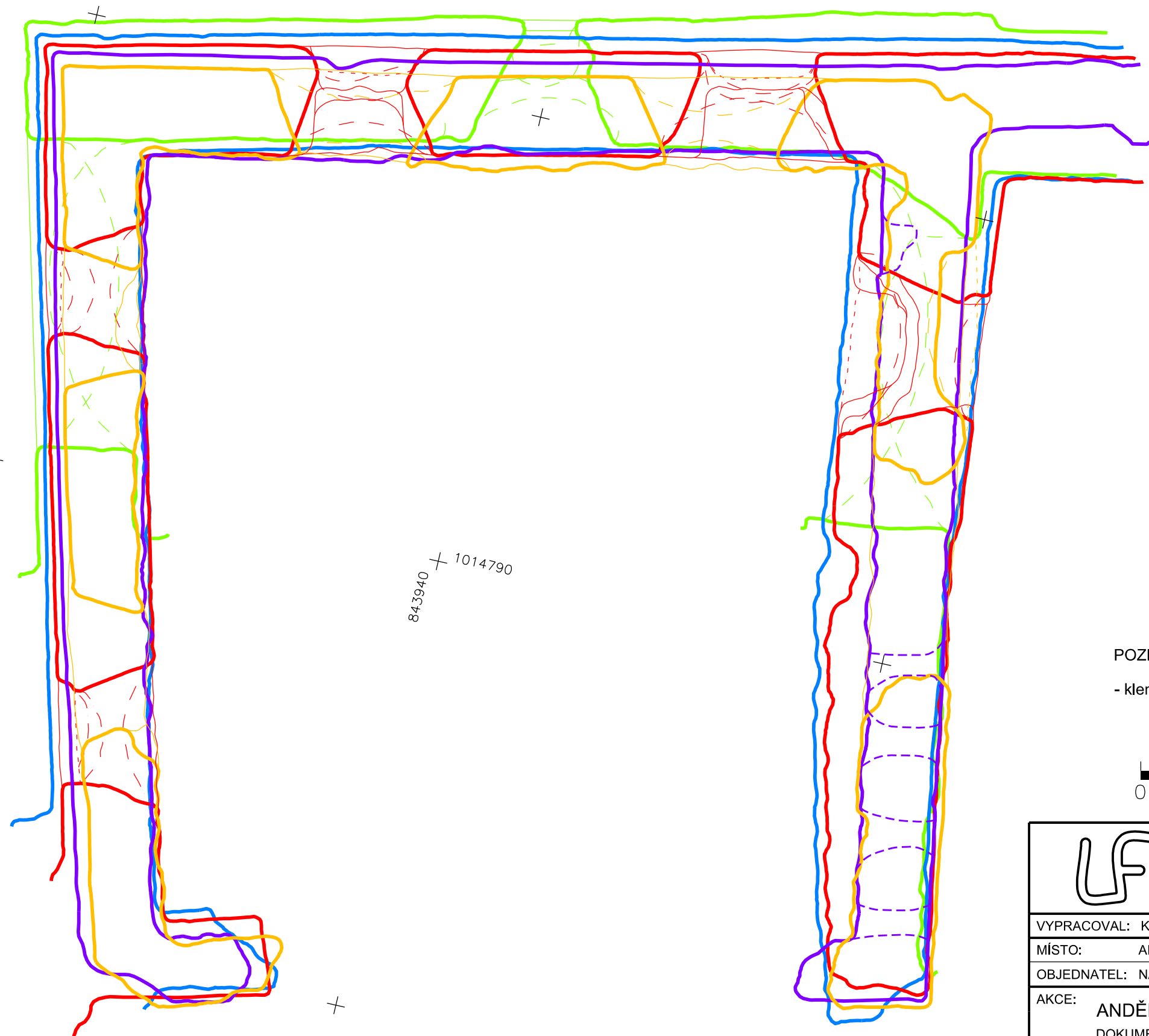
- rozměrové kóty jsou odvozeny z 3D modelu a jsou zaokrouhleny na cm
- výškové kóty jsou odvozeny z 3D modelu v Bpv, vybrané identické body jsou zaměřeny trigonometricky
- klenby jsou vektorizovány z 3D modelu a vhodně generalizovány
- připojený rastr plní ilustrační funkci



LABORATOŘ FOTOGRAMMETRIE

FAKULTA STAVEBNÍ, ČVUT V PRAZE
THÁKUROVA 7, DEJVICE, PRAHA 6, 166 29
TEL: 224 354 650; EMAIL: HODAC@FSV.CVUT.CZ

VYPRACOVAL: KRISTÝNA LEDECKÁ		KONTROLOVAL: ING. JINDŘICH HODAČ, PH.D.	
MÍSTO:	ANDĚLSKÁ HORA (OKR. KARLOVY VARY)	SOUŘ. SYSTÉM:	S-JTSK
OBJEDNATEL:	NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV, ÚOP V LOKTI	VÝŠK. SYSTÉM:	Bpv.
AKCE:	ANDĚLSKÁ HORA - HRAD DOKUMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ OBJEKTU	FORMÁT:	A3
		DATUM:	10. 1. 2018
		ČÍSLO ZAK.:	1
VÝKRES:	DRUHÁ BRÁNA - PŮDORYS V KÓTĚ 711,80 m.n.m.	MĚŘÍTKO:	ČÍSLO:
		1:50	P21

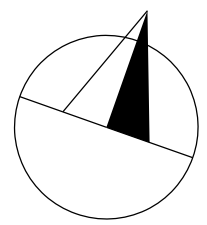


+ 843930
+ 1014785

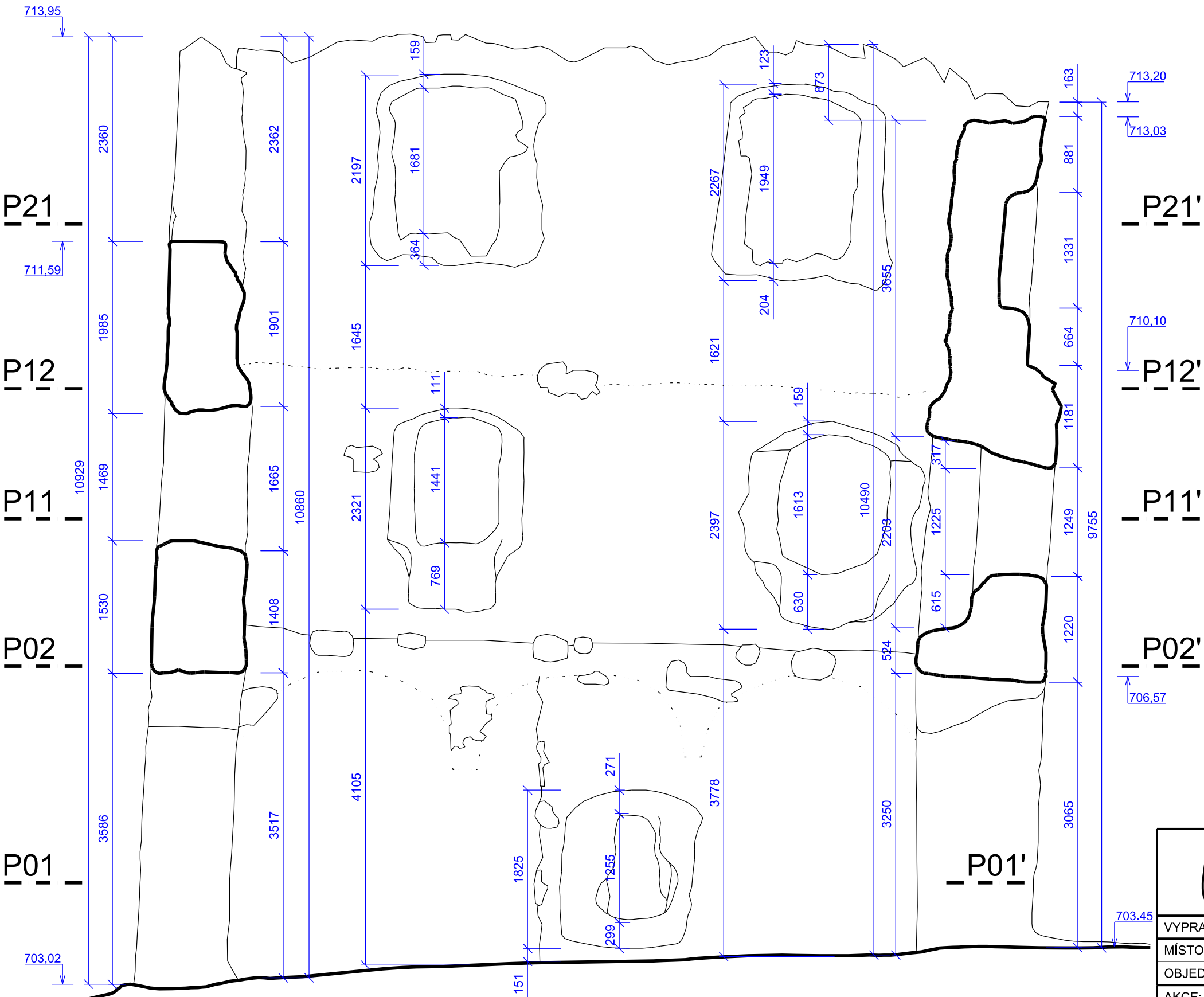
+ 843940
+ 1014790

POZNÁMKY:

- klenby jsou vektorizovány z 3D modelu a vhodně generalizovány



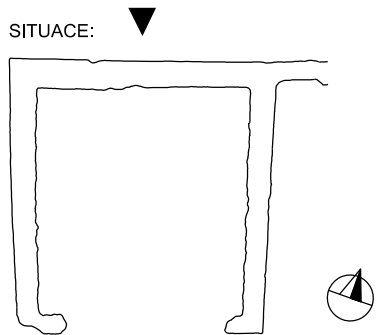
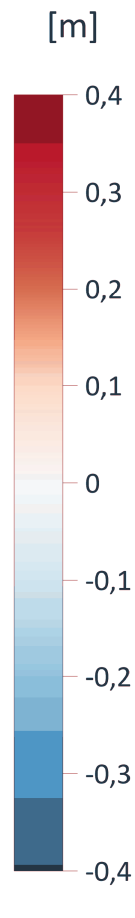
		LABORATOŘ FOTOGRAMMETRIE FAKULTA STAVEBNÍ, ČVUT V PRAZE THÁKUROVA 7, DEJVICE, PRAHA 6, 166 29 TEL: 224 354 650; EMAIL: HODAC@FSV.CVUT.CZ	
VYPRACOVAL: KRISTÝNA LEDECKÁ		KONTRLOVAL: ING. JINDŘICH HODAČ, PH.D.	
MÍSTO:	ANDĚLSKÁ HORA (OKR. KARLOVY VARY)	SOUŘ. SYSTÉM:	S-JTSK
OBJEDNATEL:	NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV, ÚOP V LOKTI	VÝŠK. SYSTÉM:	Bpv.
AKCE:	ANDĚLSKÁ HORA - HRAD DOKUMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ OBJEKTU	FORMÁT:	A3
		DATUM:	10. 1. 2018
		ČÍSLO ZAK.:	1
VÝKRES:	DRUHÁ BRÁNA - SUPERIMPOZICE půdorysu v kótě 704,20 - 711,80 m.n.m.	MĚŘÍTKO:	ČÍSLO:
		1:50	P30



- POZNÁMKY:
- rozměrové kóty jsou odvozeny z 3D modelu a jsou zaokrouhleny na cm
 - výškové kóty jsou odvozeny z 3D modelu v Bpv, vybrané identické body jsou zaměřeny trigonometricky
 - klenby jsou vektorizovány z 3D modelu a vhodně generalizovány
 - linie za rovinou řezu vektorizovány z 3D modelu, myšlené průběhy vektorizovány z rastrového podkladu
 - připojený rastr plní ilustrační funkci



		LABORATOŘ FOTOGRAMMETRIE FAKULTA STAVEBNÍ, ČVUT V PRAZE THÁKUROVA 7, DEJVICE, PRAHA 6, 166 29 TEL: 224 354 650; EMAIL: HODAC@FSV.CVUT.CZ	
VYPRACOVAL: KRISTÝNA LEDECKÁ		KONTRLOVAL: ING. JINDŘICH HODAČ, PH.D.	
MÍSTO:	ANDĚLSKÁ HORA (OKR. KARLOVY VARY)	SOUŘ. SYSTÉM:	místní
OBJEDNATEL:	NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV, ÚOP V LOKTI	VÝŠK. SYSTÉM:	Bpv.
AKCE:	ANDĚLSKÁ HORA - HRAD DOKUMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ OBJEKTU	FORMÁT:	A3
		DATUM:	10. 1. 2018
		ČÍSLO ZAK.:	1
VÝKRES:	DRUHÁ BRÁNA - ŘEZ PODÉLNÝ	MĚŘITKO:	ČÍSLO:
		1:50	S01

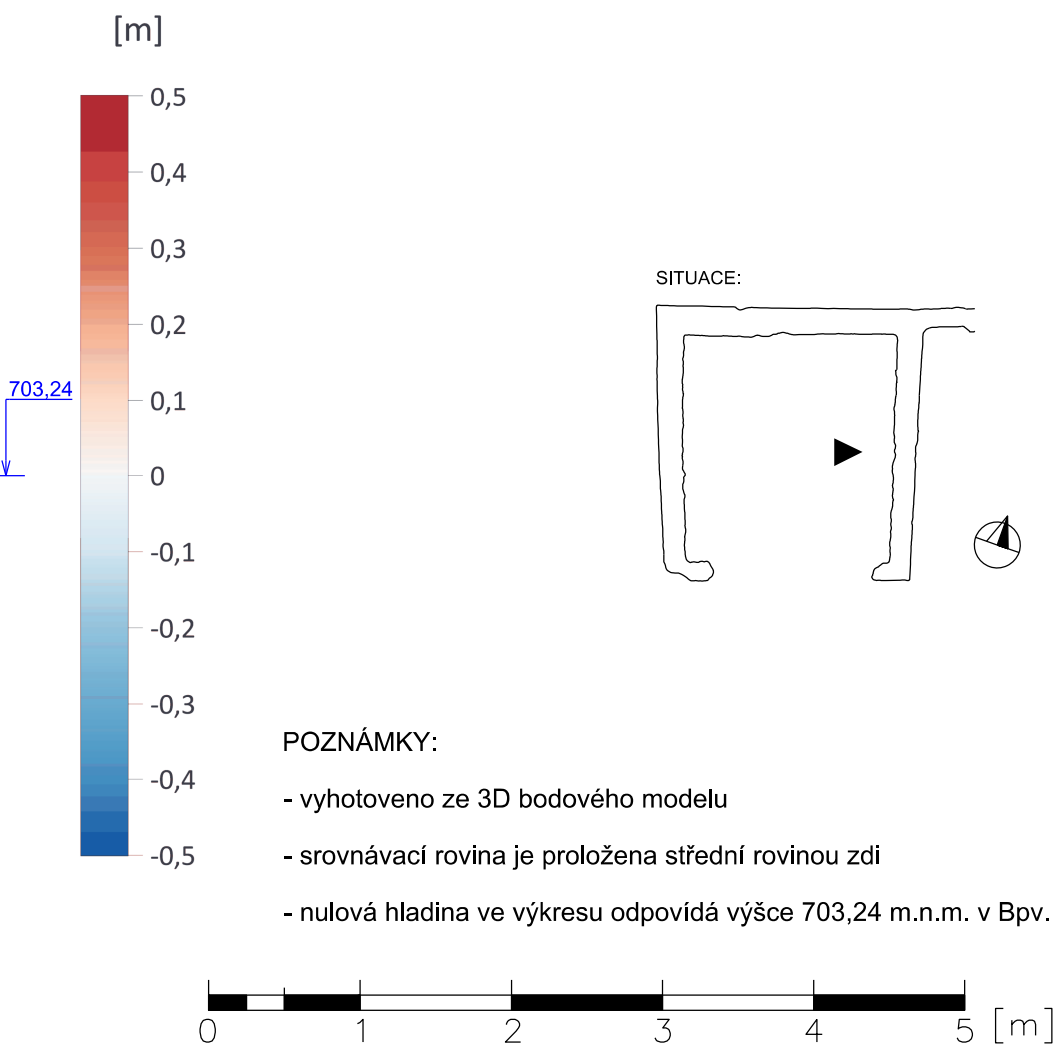
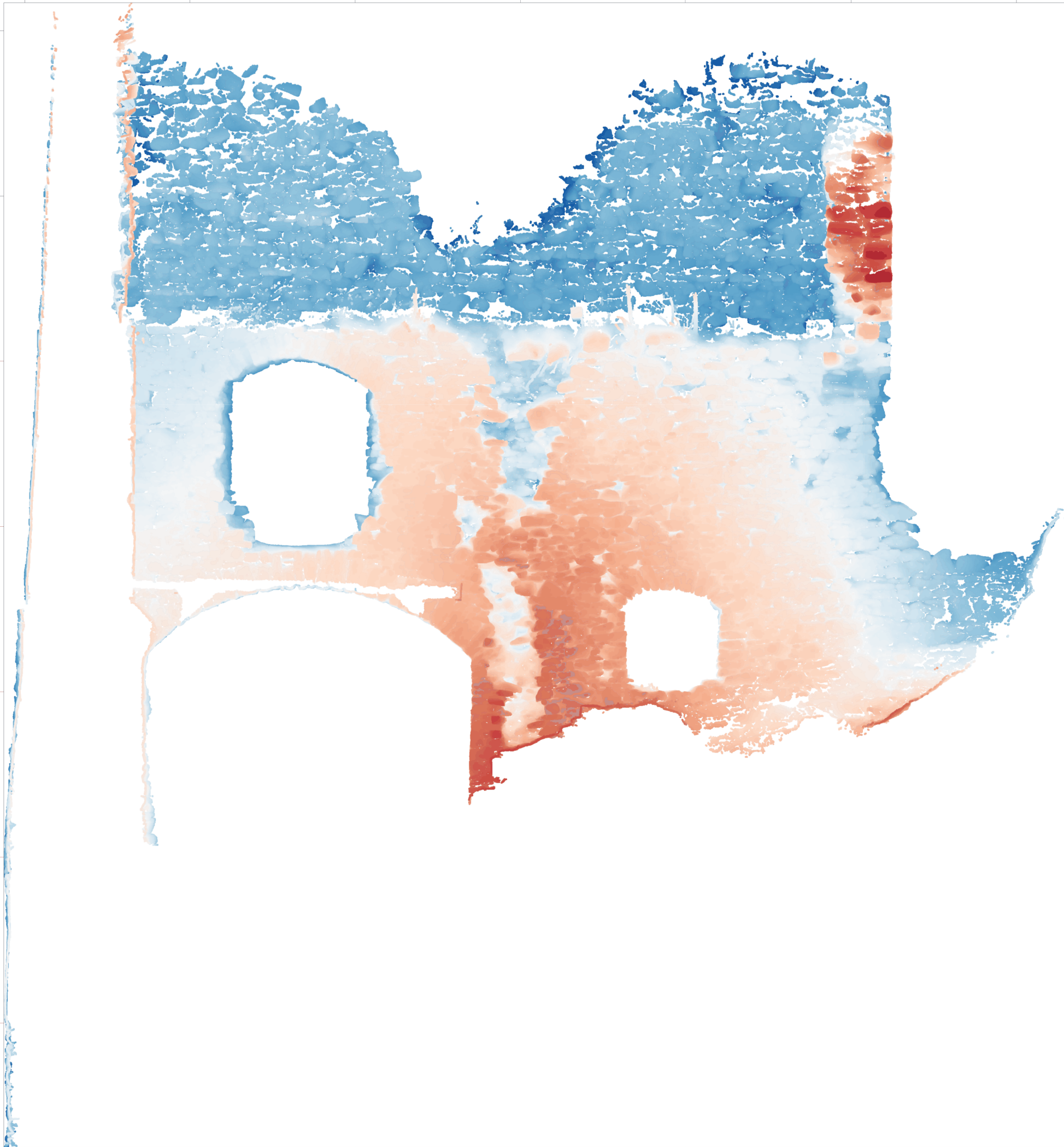


- POZNÁMKY:
- vyhotoveno ze 3D bodového modelu
 - srovnávací rovina je proložena střední rovinou zdi
 - nulová hladina ve výkresu odpovídá výšce 697,30 m.n.m. v Bpv.

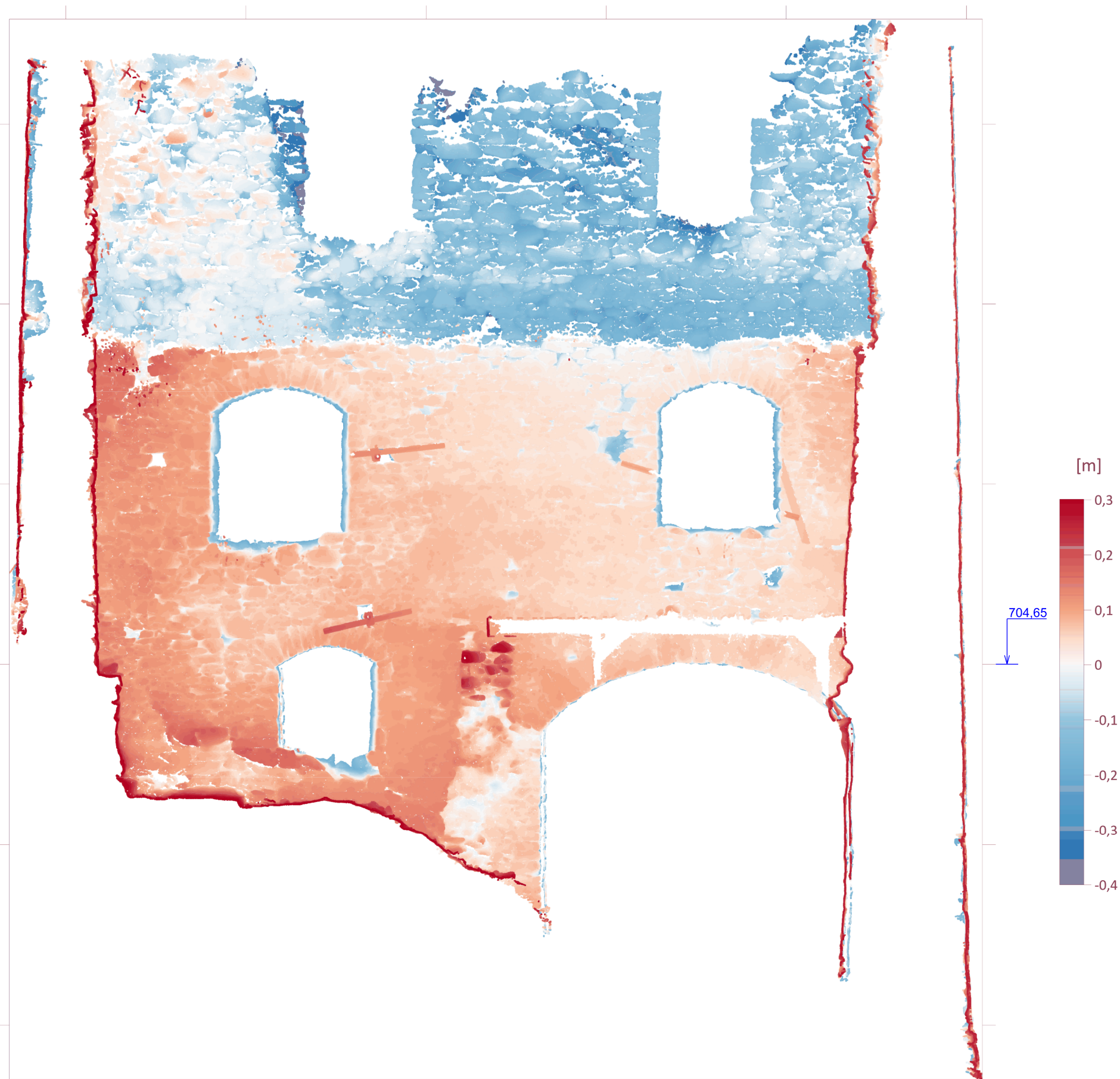


LABORATOŘ FOTOGRAMMETRIE
FAKULTA STAVEBNÍ, ČVUT V PRAZE
THÁKUROVA 7, DEJVICE, PRAHA 6, 166 29
TEL: 224 354 650; EMAIL: HODAC@FSV.CVUT.CZ

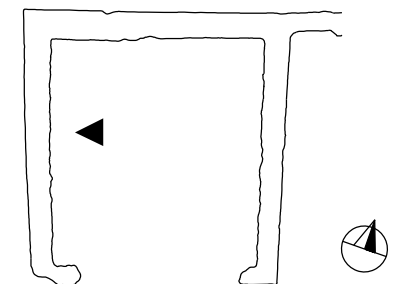
VYPRACOVAL: KRISTÝNA LEDECKÁ		KONTRLOVAL: ING. JINDŘICH HODAČ, PH.D.	
MÍSTO:	ANDĚLSKÁ HORA (OKR. KARLOVY VARY)	SOUŘ. SYSTÉM:	místní
OBJEDNATEL:	NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV, ÚOP V LOKTI	VÝŠK. SYSTÉM:	Bpv.
AKCE:	ANDĚLSKÁ HORA - HRAD DOKUMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ OBJEKTU	FORMÁT:	A3
		DATUM:	10. 1. 2018
		ČÍSLO ZAK.:	1
VÝKRES:	HYPSONETRICKÝ PLÁN vnější líc severní zdi	MĚŘÍTKO:	ČÍSLO:
		1:50	Ph01



		LABORATOŘ FOTOGRAMMETRIE FAKULTA STAVEBNÍ, ČVUT V PRAZE THÁKUROVA 7, DEJVICE, PRAHA 6, 166 29 TEL: 224 354 650; EMAIL: HODAC@FSV.CVUT.CZ	
VYPRACOVAL: KRISTÝNA LEDECKÁ		KONTROLOVAL: ING. JINDŘICH HODAČ, PH.D.	
MÍSTO:	ANDĚLSKÁ HORA (OKR. KARLOVY VARY)	SOUŘ. SYSTÉM:	místní
OBJEDNATEL:	NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV, ÚOP V LOKTI	VÝŠK. SYSTÉM:	Bpv.
AKCE:	ANDĚLSKÁ HORA - HRAD DOKUMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ OBJEKTU	FORMÁT:	A3
		DATUM:	10. 1. 2018
		ČÍSLO ZAK.:	1
VÝKRES:	HYPOMETRICKÝ PLÁN vnitřní líc východní zdi	MĚŘÍTKO:	ČÍSLO:
		1:50	Ph02



SITUACE:



POZNÁMKY:

- vyhotoveno ze 3D bodového modelu
- srovnávací rovina je proložena střední rovinou zdi
- nulová hladina ve výkresu odpovídá výšce 704,65 m.n.m. v Bpv.



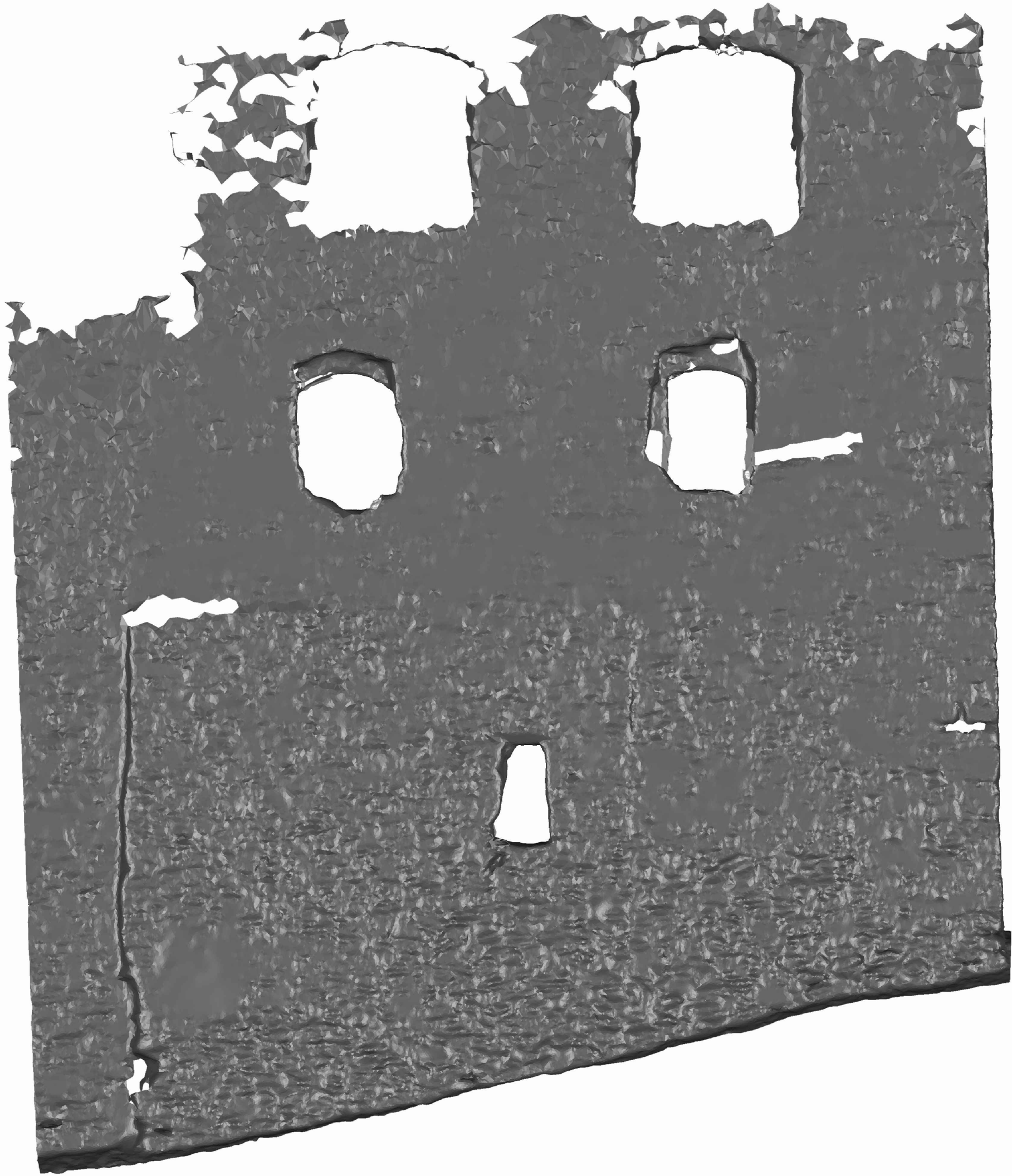
LABORATOŘ FOTOGRAMMETRIE

FAKULTA STAVEBNÍ, ČVUT V PRAZE

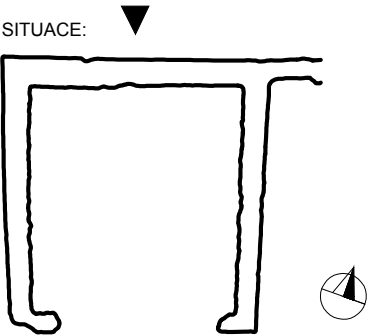
THÁKUROVA 7, DEJVICE, PRAHA 6, 166 29

TEL: 224 354 650; EMAIL: HODAC@FSV.CVUT.CZ

VYPRACOVAL: KRISTÝNA LEDECKÁ		KONTRLOVAL: ING. JINDŘICH HODAČ, PH.D.	
MÍSTO:	ANDĚLSKÁ HORA (OKR. KARLOVY VARY)	SOUŘ. SYSTÉM:	místní
OBJEDNATEL:	NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV, ÚOP V LOKTI	VÝŠK. SYSTÉM:	Bpv.
AKCE:	ANDĚLSKÁ HORA - HRAD DOKUMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ OBJEKTU	FORMÁT:	A3
		DATUM:	10. 1. 2018
		ČÍSLO ZAK.:	1
VÝKRES:	HYPSONETRICKÝ PLÁN vnitřní líc západní zdi	MĚŘÍTKO:	ČÍSLO:
		1:50	Ph03



697.30

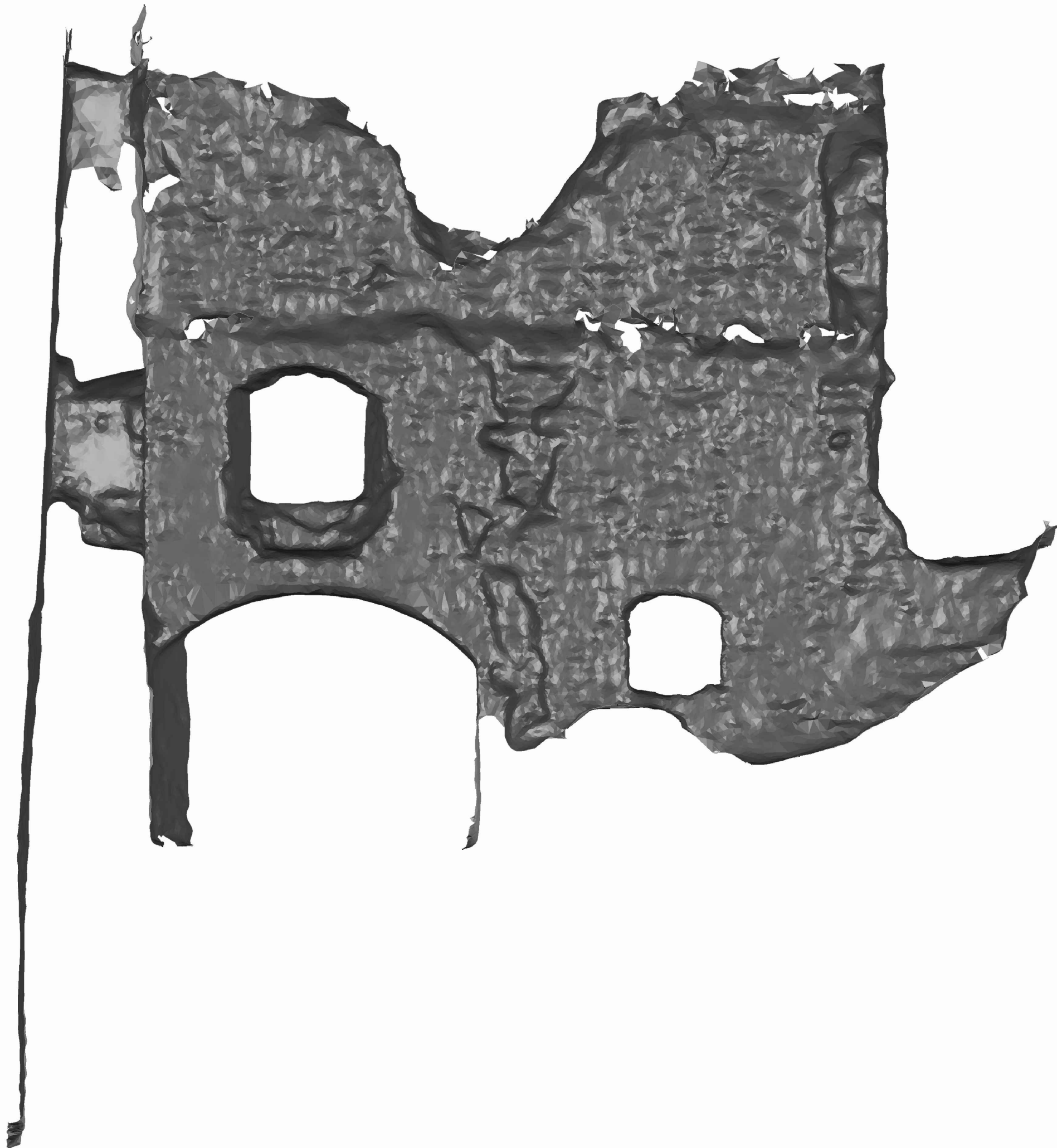


POZNÁMKY:

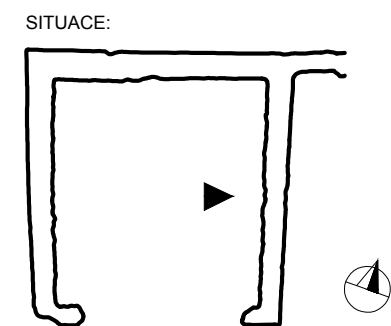
- vyhotoveno ze 3D polygonového modelu
- srovnávací rovina je proložena střední rovinou zdi
- výkres plní ilustrativní funkci a měřítko je přibližné



<div><div>LF</div><div><div>LABORATOŘ FOTOGRAMMETRIE</div><div>FAKULTA STAVEBNÍ, ČVUT V PRAZE</div><div>THÁKUROVA 7, DEJVICE, PRAHA 6, 166 29</div><div>TEL: 224 354 650; EMAIL: HODAC@FSV.CVUT.CZ</div></div></div>			
VYPRACOVAL: KRISTÝNA LEDECKÁ		KONTROLOVAL: ING. JINDŘICH HODAČ, PH.D.	
MÍSTO:	ANDĚLSKÁ HORA (OKR. KARLOVY VARY)	SOUŘ. SYSTÉM:	místní
OBJEDNATEL:	NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV, ÚOP V LOKTI	VÝŠK. SYSTÉM:	Bpv.
AKCE:	ANDĚLSKÁ HORA - HRAD DOKUMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ OBJEKTU	FORMÁT:	A3
		DATUM:	10. 1. 2018
		ČÍSLO ZAK.:	1
VÝKRES:	MONOCHROMATICKÉ ORTOFOTO vnější líc severní zdi	MĚŘÍTKO:	ČÍSLO:
		1:50	Po01



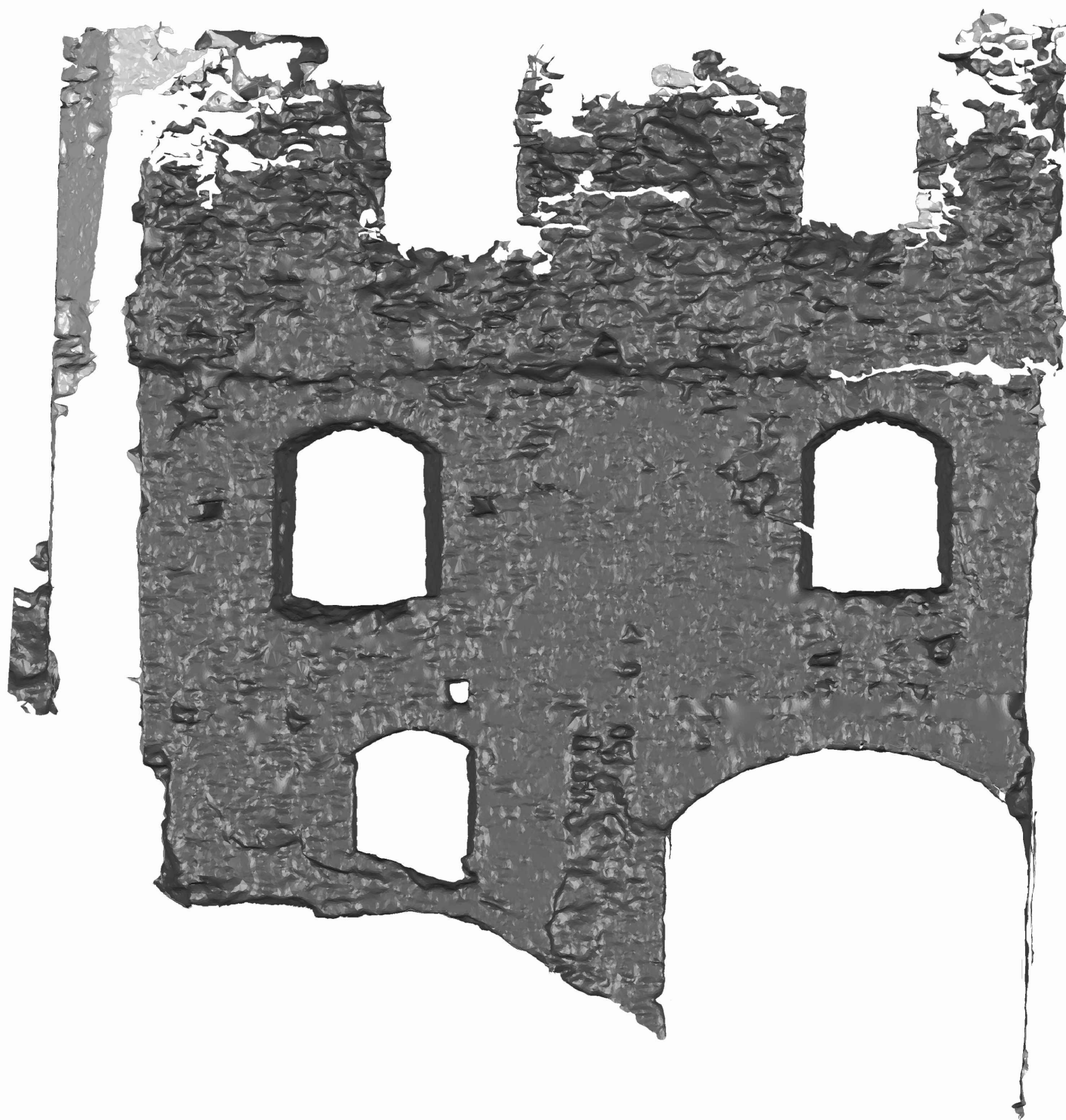
703.24



- POZNÁMKY:
- vyhotoveno ze 3D polygonového modelu
 - srovnávací rovina je proložena střední rovinou zdi
 - výkres plní ilustrativní funkci a měřítko je přibližné

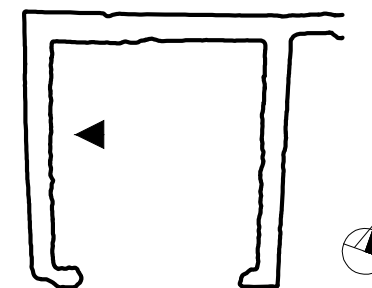


<div><div>LF</div><div><div>LABORATOŘ FOTOGRAMMETRIE</div><div>FAKULTA STAVEBNÍ, ČVUT V PRAZE</div><div>THÁKUROVA 7, DEJVICE, PRAHA 6, 166 29</div><div>TEL: 224 354 650; EMAIL: HODAC@FSV.CVUT.CZ</div></div></div>			
VYPRACOVAL: KRISTÝNA LEDECKÁ		KONTOLOVAL: ING. JINDŘICH HODAČ, PH.D.	
MÍSTO:	ANDĚLSKÁ HORA (OKR. KARLOVY VARY)	SOUŘ. SYSTÉM:	místní
OBJEDNATEL:	NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV, ÚOP V LOKTI	VÝŠK. SYSTÉM:	Bpv.
AKCE:	ANDĚLSKÁ HORA - HRAD DOKUMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ OBJEKTU	FORMÁT:	A3
		DATUM:	10. 1. 2018
		ČÍSLO ZAK.:	1
VÝKRES:	MONOCHROMATICKÉ ORTOFOTO vnitřní líc východní zdi	MĚŘÍTKO:	ČÍSLO:
		1:50	Po02



704,65

SITUACE:



POZNÁMKY:

- vyhotoveno ze 3D polygonového modelu
- srovnávací rovina je proložena střední rovinou zdi
- výkres plní ilustrativní funkci a měřítko je přibližné



LABORATOŘ FOTOGRAMMETRIE

FAKULTA STAVEBNÍ, ČVUT V PRAZE
THÁKUROVA 7, DEJVICE, PRAHA 6, 166 29
TEL: 224 354 650; EMAIL: HODAC@FSV.CVUT.CZ

VYPRACOVAL: KRISTÝNA LEDECKÁ		KONTROLOVAL: ING. JINDŘICH HODAČ, PH.D.	
MÍSTO:	ANDĚLSKÁ HORA (OKR. KARLOVY VARY)	SOUŘ. SYSTÉM:	místní
OBJEDNATEL:	NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV, ÚOP V LOKTI	VÝŠK. SYSTÉM:	Bpv.
AKCE:	ANDĚLSKÁ HORA - HRAD DOKUMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ OBJEKTU	FORMÁT:	A3
		DATUM:	10. 1. 2018
		ČÍSLO ZAK.:	1
VÝKRES:	MONOCHROMATICKÉ ORTOFOTO vnitřní líc západní zdi	MĚŘÍTKO:	ČÍSLO:
		1:50	Po03